Juan Vidal y Martí

INGENIERO

Manual práctico para DESCUBRIR LAS MINAS y para explotarlas

MANUEL MARÍN
Editor
Barcelona

TEJIDO ... lava ... TEJIDO ... TRO ... CHAPA ... sific

...nce para ... rtadores. ... yár y cla- ... tálogos

R ... dro, 58 ... ONA

Suc ... ado, 2

LÁ

Siste

de se ... perf

Nueva ... brac

Divers

Remitiremos á quien lo solicite el folleto especial con detalles sobre el manejo y consumo de estas lámparas.

OBRAS DEL MISMO AUTOR

Cuadros de análisis químico, según Remigio Fresenius, en colaboración con D. Antonio Ferrán, catedrático de la Escuela de Ingenieros Industriales de Barcelona. — Colección de 21 hojas de 28 × 44, impresas por una sola cara, conteniendo, en forma de cuadros sinópticos sumamente prácticos, toda la marcha analítica de Fresenius. — En rústica . . . . **12** ptas.

Curso de Metalurgia. — Extracto de las lecciones explicadas por el autor en la Escuela de Ingenieros Industriales de Barcelona (1.ª y 2.ª edición). — Agotadas.

Química industrial inorgánica. — Contestando el programa que rige en la Escuela de Ingenieros Industriales de Barcelona. — Segunda edición, autolitografiada, de más de 400 páginas, de 16 × 22. — En rústica. . . . **30** »

Aplicaciones de la Geometría á las Artes y á la Industria. — Lecciones desarrolladas por el autor en la Escuela provincial de Artes y Oficios de Barcelona, comprendiendo los problemas fundamentales para resolver los que cuotidianamente se presentan en la práctica. — Forma un tomo de más de 100 páginas, de 22 × 16, esmeradamente autolitografiadas. — En rústica. . . **2** »

654 inventos industriales por resolver, indispensables para llenar las necesidades actuales de la Industria, por Hugo Michel, ingeniero de las oficinas alemanas de patentes. — Versión española de Juan Vidal y Martí. — En rústica . . . . **2** »

MANUAL PRÁCTICO

PARA DESCUBRIR LAS MINAS

Y PARA EXPLOTARLAS



MANUAL PRÁCTICO
PARA DESCUBRIR LAS MINAS
Y PARA EXPLOTARLAS

POR

JUAN VIDAL Y MARTÍ

Ingeniero
Ex Alumno y Profesor de la Escuela de Ingenieros industriales de Barcelona

CON PRÓLOGO DE

D. FRANCISCO AGUILERA

Ingeniero de la Real Compañía Asturiana de Minas

Obra ilustrada con 164 grabados

BARCELONA

MANUEL MARÍN - EDITOR

594 — CORTES — 594

1910

Sdad. Anón. La Neotipia, Paseo de Gracia, 77, int. — Barcelona

AGRADECIMIENTO

Público ha de ser el mío á todos aquellos que me han prestado su apoyo para que encarnara en forma de libro esta labor, ilusión mía de mucho tiempo. Con temor la doy al mundo, y quizás no hubiese llegado nunca á él, á no ser la insistencia de quienes la leyeron, cuando aun estaba, podríamos decir, en pañales. Y me acabaron de animar las inmerecidas, sí, señor, inmerecidas alabanzas que ya desde la lectura de las primeras páginas me prodigó el prologuista, el distinguido ingeniero D. Francisco Aguilera, amigo mío por mi fortuna; pues fortuna es tener por amigos á personas de erudición científica y práctica tan grandes como la suya, y que como él quieran proteger con su nombre trabajos de tan pequeña monta como éste; y lo califico así de insignificante, no porque no me haya costado esfuerzos, y porque no haya puesto en él todo mi cariño, todo yo, sino sólo por ser mío.

Gracias, pues, te sean dadas, oh mi amigo; y gracias he de dar también al Dr. D. Hermenegildo Puig, y al Editor de este libro; al primero porque quiso bondadosamente corregir y anotar los primeros párrafos contenidos en el Apéndice IV, y al segundo porque no ha querido perdonarse sacrificio alguno para la mejor presentación y más completa ilustración de mi obra.

Y terminado por mi parte este deber, vuelve la hoja, juez que lees, y juzga por ti mismo si es verdad lo que te acabo de decir.

J. Vidal y Martí

Barcelona y Mayo, 1909.

PRÓLOGO

Uno de los títulos de gloria de los modernos tiempos, es la obra de vulgarización científica, extendida á toda clase de conocimientos, desde los teóricos más elevados, hasta aquellos que constituyen las ciencias de aplicación.

Á la última categoría pertenece esta obrita, que su autor designa con el nombre de *Manual práctico para descubrir las minas y para explotarlas,* y que hubiera podido calificar, quizás con más propiedad, de *Compendio de explotación minera,* pues en realidad los asuntos tratados y el desarrollo de los mismos corresponden á lo que por explotación minera se entiende.

No es, ciertamente, tarea fácil reunir en un libro de pequeñas dimensiones, las nociones

de cuantos conocimientos se necesitan para tener una idea de lo que es una mina y de los medios de que la ciencia se vale para descubrirla, explotarla y beneficiar los productos que de ella se extraen; pues son tantos y tan complejos los problemas que en una mina se presentan, que se corre el riesgo, al querer darlos á conocer, de pecar por un excesivo desarrollo, ó de echar en olvido alguno de verdadera importancia. Á pesar de estas dificultades, ha tenido el autor el acierto de tratar todas las cuestiones relacionadas con la explotación minera en forma tal, que no pierde la obra su carácter de sencillez y fácil comprensión propia de esta clase de trabajos de vulgarización.

En el primer capítulo da el Sr. Vidal unas nociones de Geología práctica, que sirven para explicar el modo como se presentan los minerales, las relaciones entre los mismos y los terrenos en que se encuentran, y las variaciones que en su dirección, espesor, riqueza, etc., pueden presentar los filones. Este capítulo, con las clásicas figuras que le acompañan, da una

idea de las dificultades con que en la práctica se tropieza para seguir á los filones en su accidentado camino.

Tras ésta que pudiéramos llamar parte teórica de la obra, entra ya de lleno en el estudio de la explotación minera, dividiéndola en los cuatro períodos de prospección ó período de investigación, valoración ó apreciación de la posibilidad industrial de la explotación, preparación de la explotación, y explotación propiamente dicha.

Cada uno de estos períodos ha sido tratado con el suficiente desarrollo para que se comprenda con claridad su objeto y la manera de conseguirlo. Y así vemos que en la prospección nos habla de la importancia indiscutible de los conocimientos geológicos, como fundamento de presunciones y juicios que luego vendrán á afianzar cuantos datos puedan obtenerse de los sondeos, galerías, pozos y demás trabajos que á dicho fin se ejecuten; y á continuación trata de la manera de hacer el reconocimiento de los afloramientos y de las partes profundas, describiendo la situación que deben tener las

galerías y pozos de exploración, y pasando revista á los diferentes sistemas de sondeos con la extensión que merece este punto, por ser indudablemente el sondeo el medio más sencillo y expedito de tener conocimiento de la estructura de un terreno.

Tras ligeras consideraciones sobre la apreciación del valor de los yacimientos, pasa á tratar de los métodos de arranque, y nos explica la manera de hacer las excavaciones y proteger las que se van haciendo, para describir sucesivamente cuantas operaciones integran el complejo problema de preparar y explotar una mina. En esta parte de la obra vamos conociendo los diversos métodos de transporte y extracción, y la manera de organizar los servicios auxiliares, ventilación, alumbrado y desagüe. En el capítulo dedicado á la explotación propiamente dicha, se describen sumariamente los diversos procedimientos que pueden seguirse para obtener el máximo de rendimiento en el trabajo, según sea la naturaleza del criadero.

La última parte de la obra está dedicada al

estudio de la preparación mecánica de las menas, asunto tan íntimamente ligado á la explotación, que bien puede considerarse como parte de la explotación misma, pues, en general, puede decirse que, gracias á la preparación mecánica, se convierten en productos de valor industrial los que de la mina se extraen, y que en boca-mina no lo tienen la mayor parte de las veces, por su baja ley en materia útil ó por la ganga que las acompañan. La preparación mecánica tiene tal importancia, que de su acertada disposición depende, en parte, el éxito de una explotación minera. Y no es raro el caso de minas que los progresos realizados en la preparación han permitido explotar con provecho, ni el de productos desechados antes por estériles, que han podido beneficiarse merced á dichos perfeccionamientos.

La descripción de las diversas operaciones que hemos indicado está hecha con claridad y método, y tiene, además, el mérito de que su concisión no fatiga, y su lenguaje está exento, en general, del tecnicismo que tanto confunde á quienes carecen de preparación especial.

Quizás debiera el autor haber empleado con más frecuencia los ejemplos, con lo cual hubiera resaltado la importancia de cada una de las operaciones, y la impresión en los lectores sería más duradera.

Pero de todos modos, lo cierto es que, á medida que se lee el trabajo del Sr. Vidal y se va pasando revista á las variadas operaciones de que ha menester la explotación de una mina, va el lector penetrándose de la suma de trabajo, de precauciones y cuidados que requiere dicha explotación, y de lo difícil que es en la práctica llevar todos esos elementos combinados de tal manera que no se estorben en su acción, ó no resulte inútil su trabajo. Y no puede menos de pensar en el derroche de inteligencia y actividad que demanda la dirección de una mina con arreglo á los principios de la ingeniería, para obtener de ella el provecho esperado, garantizando al mismo tiempo su explotación y la seguridad de los que en ella trabajan.

No dudamos que esta obra será bien acogida por todos aquellos que gustan de penetrar

el *porqué* de las cosas y desean conocer los medios de que el hombre se vale en su lucha con la naturaleza, pues la discreción con que su autor ha sabido aunar los conocimientos teóricos con la parte práctica, sin el encumbramiento científico que fatiga, ni el exceso de detalle que distrae, hace que su lectura presente verdadero interés.

Junto con la labor de difusión de cultura que esta obrita representa, habrá conseguido su autor que los lectores prodiguen un merecido tributo de admiración á cuantos se dedican á la explotación minera, y con su penoso trabajo ó su esfuerzo intelectual contribuyen á la creación de una de las principales riquezas de un país.

FRANCISCO AGUILERA
Ingeniero industrial

CAPÍTULO I

NOCIONES GENERALES DE GEOLOGIA PRACTICA

Formación de la Tierra

En las primeras etapas de la constitución del Universo sólo existía la materia en el estado gaseoso ó ultragaseoso, llenando la inmensidad del espacio, y después, iniciándose núcleos más ó menos extensos, comparables á las actuales nebulosas, se originaron, por concentraciones sucesivas de la masa gaseosa, los infinitos sistemas planetarios existentes.

No todos los autores se explican de igual manera el proceso, la sucesión de fases por que ha pasado la materia en esta constitución universal, pero parece ser la teoría de Laplace la que tiene más visos de verosimilitud.

Según ella, la masa gaseosa debió, efectivamente, reunirse en nebulosas alrededor de determinados centros, de cuyos centros, por efecto de la extraordinaria rapidez del movimiento giratorio de que estaban animadas estas nebulosas, y de

una manera sucesiva, se separaron los planetas con sus respectivos satélites.

De manera que hubo una primera aglomeración que determinó las nebulosas primitivas, que fueron concentrándose más y más hasta formar los soles ó masas centrales gaseosas de forma esferoidal; de estos soles, por efecto de la rapidez de su movimiento de rotación y por la sucesiva concentración de la masa, quedaron desprendidos grandes jirones gaseosos que en forma de anillos continuaron girando alrededor del centro de que se habían desprendido, cada uno de los cuales, por efecto de una nueva concentración de su materia, debían, en tiempos posteriores, constituir los planetas, de forma también esferoidal; y de estos planetas, á su vez, se desprendieron anillos que, concentrándose, originaron los satélites.

Es curioso observar que la concentración de la materia alrededor de los astros engendró una elevación de temperatura tan extraordinaria en sus primeras edades, que á pesar del frío producido por la irradiación al espacio, todos ellos permanecieron en estado flúido ó pastoso, adquiriendo entonces la forma esférica, más ó menos achatada según la mayor ó menor velocidad de rotación, que han conservado después de su solidificación.

Por lo que respecta á nuestro sistema planetario, y como ejemplo de la anterior teoría, parece palpable que, al formarse el Sol, quedó como una nebulosa cuyo diámetro alcanzaría hasta más allá de las

regiones hoy ocupadas por Neptuno, en la cual la materia de la superficie, la más exterior, estaba animada de vertiginosa velocidad de rotación. Siendo relativamente pequeña la cohesión de la materia gaseosa superficial, y estando sometida á la intensa fuerza centrífuga desarrollada por la rotación del Sol una buena parte de estos gases superficiales, no siguió la concentración general de la masa gaseosa y se desprendió, permaneciendo á manera de gigantesco anillo, girando alrededor del Sol en las regiones en que hoy encontramos á Neptuno, que es el planeta de nuestro sistema más alejado del Sol.

Por efecto de esta pérdida de masa, el Sol disminuyó en diámetro y continuó también disminuyéndolo por el enfriamiento, y, por lo tanto, aunque su movimiento de giro no hubiese menguado, la velocidad superficial fué menor, y consiguientemente, el inmediato desprendimiento de materia gaseosa superficial se efectuó en menor proporción y en regiones más próximas que la correspondiente á Neptuno, y nació Urano.

Y así sucesivamente fueron formados cada vez más cercanos al Sol, y cada vez también de menores dimensiones, los demás planetas.

Es obvio decir que de manera análoga nacerían los satélites de la Tierra y demás planetas de nuestro sistema solar, si bien debe advertirse que debieron intervenir circunstancias especiales en su formación para que queden explicadas las particularidades que en los movimientos de estos satélites se observan.

Historia de la Tierra

Constituída así la Tierra como uno de tantos astros como pueblan el espacio, era, al separarse de la masa atmosférica solar, un conjunto de materias gaseosas, todas ellas mezcladas más ó menos íntimamente. Pero por el enfriamiento que fué determinándose por efecto de la irradiación calorífica á las regiones del espacio que habían quedado desprovistas de materia y, por lo tanto, de calor, se iniciaron condensaciones preferentemente en las regiones que podríamos llamar superficiales, ó límites, se iniciaron transformaciones de las masas gaseosas en otras líquidas ó sólidas que, solicitadas por la gravedad, se dirigieron hacia el centro, si bien la elevada temperatura que allí reinaba todavía y la mayor presión á que estaba sometida la materia de aquellos lugares, no les permitió llegar á él, pues antes se volatilizaron nuevamente y quedaron, por lo tanto, formando una capa en una zona de equilibrio termodinámico.

Así fué naciendo la separación definitiva entre las partes más volátiles y frías y las partes más pesadas y calientes, lo cual constituyó en definitiva un núcleo central pastoso, incandescente, como resultado de la acción combinada del calor y de la presión, envuelto por una alta y espesa atmósfera gaseosa. Pero de aquí en adelante, aunque considerado núcleo y atmósfera en conjunto era la totalidad de la masa la que irradiaba calor al espacio, puede asegurarse que este calor dimanaba casi exclusivamente del núcleo central, dando lugar á que la parte superficial de él se enfriase y se formasen con-

creciones sólidas, grandes cuajarones que, aumentando en número y en espesor, lograron, no sin infinitos derrumbamientos, inmersiones y dislocaciones, adquirir definitiva estabilidad constituyendo una costra sólida, que fué ya el límite definitivo entre lo gaseoso y lo pastoso.

La Tierra, en este primer período, presentaba una actividad de enfriamiento grande, pues los vapores acuosos que como substancias poco densas se habían acumulado preferentemente en las regiones más alejadas del centro de aquel esferoide estelar desprendido de la masa del Sol, al condensarse y caer en forma de lluvia abundante sobre la costra terrestre recientemente solidificada que conservaba todavía una muy elevada temperatura, se vaporizaba otra vez inmediatamente, y el frío producido por esta vaporización contribuía poderosamente al enfriamiento del suelo y producía, al propio tiempo, intenso trabajo mecánico de erosión y acciones químicas. Por otra parte, se sucedieron continuamente dislocaciones y erupciones en la corteza terrestre provocadas por la presión desarrollada por la masa flúida é ígnea que constituía el núcleo central. Es en este período que se forman las rocas cristalinas y silíceas (principalmente en forma de silicatos), los gneiss, pizarras micáceas, cuarcitas, etc.; y también es en él que son lanzadas violentamente á la superficie, por las presiones interiores, grandes masas de materia flúida que al solificarse formaron las rocas volcánicas que hoy conocemos con los nombres de granitos, pórfidos, etc.

Es natural, por las condiciones especiales que

atravesaba la Tierra, tanto por la temperatura elevada como por la falta de agua líquida, que no fuese posible la vida animal ni vegetal en este período, y por ello es que en los terrenos que pertenecen á esta *era primitiva,* no se encuentran ni las más rudimentarias organizaciones de vida.

Pasados quizás algunos millones de años ó siglos, lograron las aguas estacionarse ya en la superficie del suelo, por haberse equilibrado la temperatura del suelo con la de las aguas condensadas. Se formaron, pues, los primeros mares, que por lo removido del suelo, estuvieron salpicados, seguramente, de numerosas islas é islotes. Se inicia, ó mejor, se acentúa, además, la acción química de estas aguas, saturadas del ácido carbónico que constituía principalmente la atmósfera y que tenían en disolución numerosas materias minerales procedentes del suelo y de la atmósfera. Y aunque las dislocaciones y erupciones continúan abundantemente, no son tan intensas como en el período anterior. De manera, que en esta *era primaria* hay condiciones para la formación de numerosas rocas que contribuyen á la consolidación general del suelo, y á que se inicie la vida animal en el fondo de los mares y la vegetal en los continentes, principalmente esta última, que llegó á alcanzar maravilloso esplendor por las grandes masas de ácido carbónico que aguas y atmósfera contenían. No de otra manera pueden explicarse los abundantísimos yacimientos hulleros que proveen hoy de precioso combustible á las necesidades actuales de la industria.

Después de este largo y agitado período, vino

la *era secundaria,* que lo fué de calma, y propia para que, ya libre la atmósfera de la mayor parte del ácido carbónico que antes contenía, pudiera desarrollarse espléndidamente la vida animal, no sólo en los mares sino también en los continentes y lagos ó mares interiores.

Á esta época, escasa en manifestaciones plutónicas, pertenecen los legendarios monstruos terrestres y marinos, de colosales dimensiones, de los cuales, aunque sólo se hayan encontrado esqueletos enteros en corto número, se ha podido reconstituir por sus restos la forma y dimensiones de la mayor parte.

También los animales de reducidas dimensiones son tan abundantes, que sus restos constituyen verdaderos bancos de ostreas, amonites, belemnitas, etc.

Por su parte, el metamorfismo terrestre era lento, muy lento, y tendía, por las sedimentaciones que se efectuaban en los mares, á igualar la corteza terrestre, rellenando las profundidades y suavizando, por lo tanto, las crestas dejadas por las dislocaciones anteriores.

Á la tranquilidad de la época secundaria, siguió la agitada *época terciaria,* caracterizada por levantamientos plutónicos que produjeron los grandes relieves actuales, como son los Pirineos, los Apeninos, los Alpes, el Himalaya y los Andes. Al propio tiempo es activísimo el trabajo de las aguas, que en forma de corrientes y de manantiales, circulan profusamente. La abundancia de las lluvias limpia la atmósfera de sus últimas impurezas. Y es en esta

era, que se rellenan las grietas terrestres antiguas y las nuevamente formadas, con los materiales que en parte explotamos hoy y que conocemos con el nombre de minerales. La vida continuó siendo abundante en la tierra y en el mar, encontrándose especialmente numulitas y restos de grandes mamíferos.

La *era cuaternaria* viene caracterizada por grandes perturbaciones climatéricas que ocasionaron condensaciones atmosféricas ó lluvias en unas regiones, y copiosas nevadas en otras, y por la invasión glacial, esto es, por la presencia del agua sólida en la superficie terrestre. El trabajo del agua líquida y del agua sólida se traduce en grandes fenómenos de erosión y de transporte, dibujándose los valles y relieves que constituyen la actual topografía terrestre, la cual, aparte de estas modificaciones superficiales debidas á la erosión, no ha sufrido variaciones importantes.

En esta época han tenido lugar dos fenómenos muy importantes: la aparición del hombre en el escenario de la creación, y el gran cataclismo del diluvio que abarcó, como queda dicho, una parte extensísima de la superficie del globo, con la distribución y forma de los mares actuales, salvo pequeñas diferencias. Al principio de esta era se atribuye el hundimiento de la famosa Atlántida, cuya desaparición no podía menos de producir un cambio marcado en las condiciones meteorológicas de Europa.

Por su parte, la fauna no se ha enriquecido con nuevos ejemplares, antes al contrario, desapa-

recieron muchos de los antiguos, por ejemplo, los grandes mamíferos herbívoros que todavía existían en los primeros tiempos de la aparición del hombre sobre la tierra. La vida animal de los mares no varió mucho, puesto que los cambios en ellos sufridos no fueron de importancia.

Á continuación ponemos un cuadro demostrativo de la colocación respectiva de los terrenos, tal como los diversos fenómenos cuya descripción rápida acabamos de hacer, los dispuso en la corteza terrestre. Y si bien el hombre no ha llegado á profundizar en ésta hasta las regiones que ocupan los terrenos primeramente formados, los trastornos geológicos al dislocar y derrumbar las capas ya formadas, nos han traído á la superficie parte de ellos en multitud de lugares del globo, y por la comparación de la sucesión de unos terrenos con respecto á los otros se ha logrado reconstituir la historia de la Tierra, tal como la indicamos en el siguiente cuadro que tomamos de Chalon:

Clasificación y caracteres de los terrenos

	PERÍODO	PISO	FÓSILES CARACTERÍSTICOS
ERA CUATERNARIA	actual	—	Restos del hombre y de los animales contemporáneos
	diluvio	—	Osamentas de las cavernas Restos de grandes animales Conchas marinas
ERA TERCIARIA	plioceno	subapenino	Conchas de agua dulce Buccinum prismaticum Grandes mamíferos
	mioceno	faluniense	Conchas de agua dulce Vegetales Grandes mamíferos
	oligoceno	aquitaniense	Conchas de agua dulce
		tongriense	Conchas de agua dulce Restos de conchas marinas
	eoceno	parisiense	Conchas de agua dulce (planorbis, limnea, miliolitas) Numulitas, foraminíferos, ceritios
		suesoniense	Conchas de agua dulce Numulites, foraminíferos
ERA SECUNDARIA	cretáceo	daniense	Baculitas y escafitas
		senoniense	Micraster, esferolitas é inoceramos Belemnitella mucronata
		turoniense	Inoceramos labiado. — Rinconela Hipuritas; numerosos foraminíferos
		cenomaniense	Escafitas, turrilitos Amonitas rotomagensis
		albiense	Amonitas, turrilitos, hamitas
		aptiense	Plicatelas
		neocamiense	Conchas de agua dulce Amonitas de espiras separadas Belemnitas gruesos

Clasificación y caracteres de los terrenos

	PERÍODO		PISO	FÓSILES CARACTERÍSTICOS
ERA SECUNDARIA	jurásico	JURÁSICO SUPERIOR	portlandiense	Amonitas gigante
			kimeridgiense	Exogyra virgula. — Ostrea deltoida Astarté mínima
			coraliense	Astartés y nerineas
			oxfordiense	Ostreas Marshii y dilatata Amonitas Jason, belemnitas hastatus
		JURÁSICO MEDIO	batoniense	Amonitas humphresianus Amonitas margaritatus. — Políperos
			bajociense	Varios amonitas y ostreas
		LIAS SUPERIOR	toarciense	Amonitas, belemnitas, posidonias, grandes saurios
		LIAS MEDIO	liasiense	Gryphea cymbium, amonitas y belemnitas
		LIAS INFERIOR	sinemuriense	Gryphea arqueada, lima gyganteum
			hetangiense	Amonitas planorbis. — Pectens
			retiense	Avicula concorta
	triásico		keuperiense	Vegetales numerosos, moluscos raros Restos de peces y saurios
			franconiense	Amonites nodosus, Coprolitos
			vosgiense	Pocos fósiles; posidonia minuta Trazas de animales
ERA PRIMARIA	carbonífero		permiense	Spirifer undulatus.—Productus horridus Flora hullera reducida
			hullífero	Foraminíferos, políperos, moluscos articulados, vertebrados y mucha flora
			antracífero	Varios productos y espiríferos
	devónico		fameniense	Pocos fósiles
			eifeliense	Pocos fósiles
			renense	Pocos fósiles
	silúrico		bohemiense	Muchos fósiles, por ejemplo, calimenes (trilobites), bilobites, ortóceros
			armoricíense	
	cámbrico		escandinavo	Trilobites, encrinos, paradoxidas
			ardenense	Gusanos y anélidos
ERA PRIMITIVA	no estratificados		—	Sin fósiles
	estratificados		—	

Minerales: manera de presentarse en la naturaleza

Por *mineral*, en el sentido más amplio de la palabra, ha de entenderse toda substancia útil al hombre, extraída del seno de la tierra; pero en un sentido más restringido, en el sentido que vulgarmente se le da, se consideran como minerales aquellas substancias que contienen, ya libre, ya combinado, alguno de los elementos tenidos usualmente como metales.

De gran utilidad sería que se modificara esta idea equivocada que de los minerales se tiene, puesto que puede hacer despreciar substancias que no por estar exentas de los metales vulgares dejan de tener un subidísimo valor. Los yacimientos de fosfatos, de azufre, de nitratos, de sal gema (ó sales alcalinas en general), son ejemplos evidentes de ello; conocidos son de sobra los vastos capitales que en su explotación están empleados, y los pingües rendimientos que producen. Sería falta grave el que aquí no se tratara también de ellos, y por lo tanto á ellos haremos de vez en cuando referencia, si bien en las proporciones que estas líneas, sin perder su carácter práctico, nos permitan.

Los minerales suelen presentarse en la naturaleza formando parte de grandes masas de consistencia pétrea y de composición más ó menos compleja, constituyendo á veces porciones considerables de la costra terrestre. No ha de creerse, sin embargo, que se encuentren formando estas masas por sí solos, sino que lo más corriente es que estén mezclados,

á veces muy íntimamente, con otras substancias de diferente naturaleza que reciben el nombre de *ganga*.

Al conjunto de ganga y mineral, esto es, al mineral tal como se nos presenta al salir de la mina, le llamaremos *mena*. Esta mena no es inmediatamente utilizable para ser sometida al tratamiento metalúrgico que su naturaleza requiera, sino que ha de sufrir, por lo general, una manipulación preliminar que elimine, en lo posible, la ganga para que no se encarezca ó complique el citado tratamiento metalúrgico. La serie de operaciones que constituyen esta manipulación preliminar es lo que se conoce con el nombre de *preparación mecánica de las menas,* ó también con el de *concentración de minerales,* por cuanto, en realidad, no es más que una concentración de substancia útil lo que con ella se quiere alcanzar.

Yacimientos ó criaderos

Si tomamos á la palabra mineral en la más general de las dos definiciones que de él hemos dado, deberemos considerar al globo terrestre como un conjunto de yacimientos minerales; pero para los efectos de la explotación minera sólo podemos considerar como yacimiento ó criadero, al sitio ó lugar en que hay minerales que por su explotación pueden prestar utilidad al hombre. De esta definición y de las nociones de geogenia, que al principio hemos asentado, puede deducirse ya que los yacimientos vienen constituídos ora por los mismos bancos

ó sedimentaciones, ora por alguna de las substancias que anormalmente se solidificaron en la costra terrestre. De manera que si durante la sedimentación de un terreno geológico ha venido depositándose un espesor más ó menos considerable de materias minerales, se habrá producido un yacimiento de *formación contemporánea con la del terreno* que le sustenta; pero cuando después de formado un terreno se han producido en él dislocaciones y grietas por alguna de las múltiples causas que pueden engendrarlas, y luego estas grietas se han rellenado de materias minerales, se trata de *yacimientos de formación posterior á la del terreno* en que están enclavados.

Yacimientos de formación contemporánea con la del terreno en que están enclavados

Por lo general, son de grandes dimensiones, y según las circunstancias que presidieron en su formación los dividiremos en tres clases. Así distinguiremos las *capas* ó *bancos,* que no son más que sedimentaciones producidas en el seno de las aguas; los *criaderos aluvionanos* ó *detríticos,* llamados también *placeres,* que son hacinamientos de materiales que por el trabajo mecánico de la erosión del agua, y del aire, se han reunido en determinado lugar, que á veces comprende grande extensión, y los *yacimientos superficiales* que actualmente están formándose, ó que están formados desde hace pocos siglos.

Cuando las capas ó bancos son muy extensos en

longitud y anchura, y de una forma relativamente aplanada, reciben propiamente el nombre de *bancos;* presentarán, pues, los bancos gran analogía con los terrenos geológicos, aunque su origen puede sólo ser debido á una sedimentación accidental que alcance poco radio, y sólo un estudio muy detenido de su naturaleza comparada con la de los terrenos vecinos nos diferenciará unos de otros.

Cuando los bancos son de espesor muy considerable, pero de longitud y anchura relativamente pequeños, reciben el nombre particular de *masas echadas,* y tendrán, consiguientemente, los mismos caracteres de los bancos, si bien á menudo no son en realidad una sola masa en todo su espesor, sino que están divididos en *lechos* ó pequeños bancos paralelos á las capas del terreno. Dada la manera de ser especial de las masas echadas, subdivididas ó no en lechos, es natural que las capas del terreno que las rodea no podrán conservar el paralelismo que las caracteriza, sino que deberán desviarse para contornearlas, tomando luego la misma disposición primitiva.

Por fin, cuando en los bancos, á más de un gran espesor acompaña una longitud y anchura considerables, los yacimientos pueden constituir *montañas enteras* y hasta ser considerados como verdaderos terrenos en las comarcas en que están situados.

Bancos

La génesis de los bancos supone ya una posición sensiblemente horizontal, pues las sedimentaciones efectuadas en el seno de las aguas produci-

rán un levantamiento uniforme del fondo de la concavidad en que estén aprisionadas; levantamiento horizontal que persistirá aun cuando el fondo hubiese sido ligeramente accidentado, pues el continuado movimiento de la masa líquida tiende á rellenar las hondonadas con parte de las materias arrancadas de las lomas.

Natural es, no obstante, que si tan desigual es el suelo, que haya, por ejemplo, partes de él que emerjan de la masa líquida, no podrá haber en esas lomas ó *sillas* precipitación ninguna, y, por lo tanto, al propio tiempo que una como falta de continuidad del banco, producirán la desaparición de la horizontalidad á que antes nos referíamos, si bien es de importancia observar que estas anormalidades se presentarán regularmente en extensiones pequeñas, y que en la que podríamos considerar como totalidad del banco se nos evidenciarán los caracteres generales pertenecientes á esta clase de yacimientos.

Otras causas hay que también pueden modificar la característica horizontalidad de los bancos, siendo relativamente frecuente la que tiene por origen el levantamiento del fondo durante la sedimentación. Y, en efecto, se comprende que si durante el aposamiento de la capa *a b* sobre el suelo *M* (fig. 1), este suelo sufre un movimiento que destruye la horizontalidad de que primitivamente estaba dotado, la sedimentación de la capa *a b* continuará con relativo paralelismo con respecto al suelo *M* dentro de la tendencia general á la horizontalidad; y al venir luego, ya detenido el movimiento del fondo, á sedi-

mentarse otras capas sobre éstas, se rellenarán los huecos y se restablecerá la horizontalidad en el fondo del lago ó mar.

Antes hemos hecho mención de una causa que daba lugar á falta de continuidad en el banco, por ausencia de materia precipitada sobre el suelo; pero la falta de materia depositada sobre determinado punto puede también obedecer á una destrucción de la misma por la acción de agentes mecánicos ó químicos. Si un fondo de mar ó lago en que se ha verificado la sedimentación con las necesarias condiciones para que presentase la característica horizontalidad, se levanta y llega hasta sobresalir de la superficie, se encontrará en contacto con los agentes atmosféricos, mucho más enérgicos en edades anteriores, y con la acción erosiva de las aguas superficiales que, según sea la naturaleza ó el estado de agregación de la materia aposada, puede ser de rápidos efectos, y se producirá, en último resultado, su destrucción total ó parcial. Si la erosión es total (fig. 2), tendremos

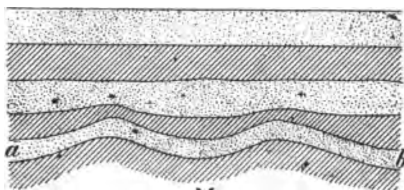
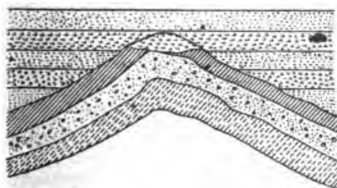


Fig. 1


Fig. 2

una repetición de las condiciones de discontinuidad de que antes se ha hecho mención, si bien, como se ve, por causa distinta; y si es sólo parcial puede el banco presentarse con las desigualdades indicadas en la fig. 3 en que se observa que, al contrario de lo que se verifica usualmente, la capa *a b* tiene el asiento horizontal y el techo desnivelado.

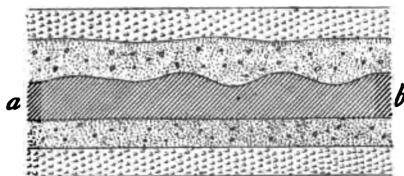


Fig. 3

Los bancos, ó mejor, los terrenos geológicos, y así comprenderemos á unos y á otros, que pueden, después de formados, sufrir tales accidentes que quede uno perplejo al querer descifrar el proceso geológico en una determinada comarca. Presentaremos aquí unos ejemplos sencillos, pues no es éste un tratado de Geología, para que al encontrarse el prospector en presencia de anormalidades, pueda razonablemente analizar y obrar en consecuencia.

Las condiciones de aprisionamiento en que quedaron las masas ígneas en el interior de la corteza terrestre, así como las dislocaciones que ésta en ocasiones ha sufrido por la falta de apoyo inferior, debido casi siempre á erosiones subterráneas producidas por la acción de las aguas, á veces altamente mineralizadas y muy frecuentemente termales, dieron lugar á movimientos más ó menos intensos de los estratos terrestres, que en último esultado se han traducido en poderosos esfuerzos

de tracción ó de compresión que han originado simples pliegues ó curvamientos si el terreno era blando, ó verdaderas roturas si el terreno no tuvo la suficiente plasticidad.

Si, por el momento, nos fijamos sólo en los primeros, veremos que, en ocasiones, pueden llegar

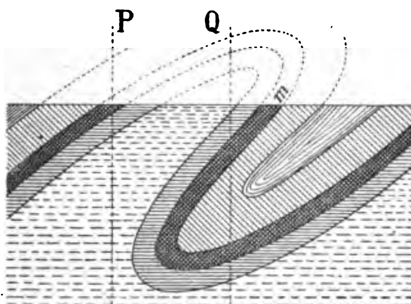


Fig. 4

á tomar posición tal que se invierta hasta el orden geológico de sustentación de las çapas. La fig. 4, que si ya no es clásica merece serlo por la claridad con que da idea de estos fenómenos, nos representa un terreno plástico que estuvo sometido á un extraordinario esfuerzo de compresión lateral, por el cual han llegado á disponerse los estratos en la forma que nos manifiesta; y se ve en ella, sin más que fijar ligeramente la atención, que quien profundice por *Q* encontrará las capas en posición inversa de aquella en que se las hubiese encontrado al profundizar en *P*, que es la natural y verdadera; y si suponemos que un prospector al descubrir la

capa *m,* que supondremos por un momento contiene minerales de suficiente riqueza, se decide á sondear en *Q* para enterarse de la importancia del yacimiento que ha descubierto, encontrará á mayor profundidad una capa igual, que él creerá distinta, cuando en realidad es la misma que antes ya había atravesado.

De manera que, y valga ya desde ahora la advertencia, á no ser que estudie con el debido detenimiento el terreno en que está enclavada la capa *m,* estudio que casi siempre le llevará al conocimiento de la primitiva posición de las capas, puede hacerse las cuentas muy galanas, y aconsejar una explotación de grandes vuelos, para luego, al poco tiempo de empezados los trabajos, caer en la cuenta de que era una sola la capa que allí había.

Nomenclatura

Pero, antes de pasar adelante, procuremos familiarizarnos con el tecnicismo geológico para facilitar la exposición de los fenómenos que nos falta reseñar y para que sea más sencilla su comprensión.

Hemos considerado á los bancos como limitados por dos planos ó, más exactamente, por dos superficies sensiblemente paralelas; á estas dos superficies se las designa con el nombre común de paredes ó caras del banco, y particularmente con los de *piso, muro* ó *yacente,* la inferior, y *techo* ó *pendiente,* la superior. Á la distancia que media entre ambas caras ó paredes del banco se le denomina *espesor* ó *potencia.*

De manera que la posición de un banco no trastornado por causas posteriores á su formación, quedará perfectamente determinada si señalamos sobre el plano ó mapa su longitud, su anchura, la profundidad á que se encuentran sus caras y la distancia que entre estas caras media. Natural es que los dos primeros datos tendrán que venir referidos á la línea *N. S.* magnética ó geográfica, si bien es la la primera la que más se emplea.

Pero hemos también dicho antes que por causas fortuitas podían perder los bancos su horizontalidad y tomar todas las inclinaciones imaginables, no sólo dentro del cuadrante comprendido entre los o y 90°, sino que, rebasando la vertical, podían presentar como techo el piso, y como piso el techo. No bastarán, por lo tanto, en este caso, las indicaciones anteriores, sino que será necesario aportar otros elementos para fijar con exactitud la posición del yacimiento. Uno de ellos es el buzamiento ó inclinación que el banco guarda con la horizontal, y el otro es la dirección, que no es más que la intersección del banco con el plano del suelo. Pero como que esta intersección no es una recta sino una curva, que nos pone de manifiesto las diversas sinuosidades que los movimientos terrestres imprimieron al banco antes ó después de su separación de la horizontalidad, prácticamente se toma como á tal la recta que viene á coincidir con la alineación general de la curva dicha, que aproximadamente, en la mayoría de casos, viene á ser la que une los extremos, ó dos puntos muy distanciados, de ella.

Vemos, pues, que la *dirección AB* ó *hilo* del banco no es más que la intersección de dos planos, el del banco y el horizontal que pasa por el punto considerado, y que la *inclinación* es el ángulo *APQ* que la línea *AP* de máxima pendiente forma con su propia proyección horizontal *PQ* (fig. 5).

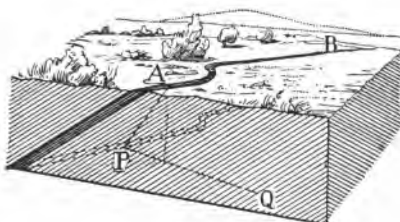


Fig. 5

La manera de representar gráficamente con estos datos la posición de un banco viene indicada en las figs. 6 y 7, en las que las líneas gruesas representan la proyección horizontal del hilo de un banco, que desvía 20° de la línea *N. S.* magnética, y que forma, con el plano horizontal, un ángulo de 68° buzando en el sentido señalado por la punta de la flecha.

Tanto la dirección como la inclinación se miden con la brújula de geólogo; pero si se quisiesen tener estos datos con gran exactitud, sería preciso recurrir á los aparatos de topografía.

Continuemos ahora describiendo algunas otras causas de dislocación de los bancos, que es de importancia conocer para los efectos de la explotación minera.

Cuando un terreno no plástico se levanta por efecto de esfuerzos interiores, llega un momento en que no puede resistir los esfuerzos de tracción

á que se encuentra sometida su masa; por otra parte, la contracción á que á veces se encuentran obligados ciertos terrenos que se enfrían ó se secan, determina en ellos también esfuerzos de tracción que pueden no ser resistidos. En ambos casos, llegado el momento de la rotura, la masa se hiende por diversos sitios que guardan entre sí cierto para-

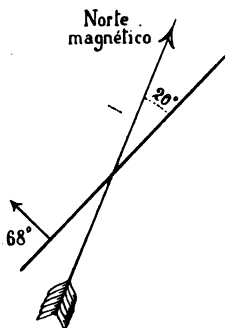


Fig. 6

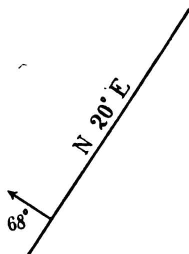


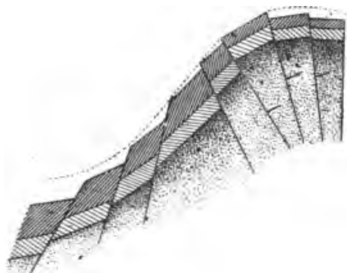
Fig. 7

lelismo, determinándose un sistema de grietas cuyas paredes ó caras pueden estar más ó menos separadas una de otra.

Después, obedeciendo á las leyes gravitatorias, las masas insuficientemente apoyadas descienden resbalando unas sobre otras, y la superficie queda, por lo tanto, alcanzado el equilibrio final, con un perfil distinto del primitivo, y, además, desnivelados los distintos bancos ó terrenos que antes formaban la sedimentación general (fig. 8).

En otras ocasiones, estas interrupciones más ó menos repetidas de los estratos se forman aunque los terrenos sean plásticos; y en prueba de ello, la

fig. 9 nos muestra un terreno que, por estar insuficientemente apoyado ó por sufrir violentos esfuerzos, va descendiendo por su parte *M* (fig. 10) y llega á tomar la forma de la fig. 11, en que las capas han quedado completamente separadas y con un desnivel más ó menos importante según la persistencia é intensidad de los esfuerzos generadores.

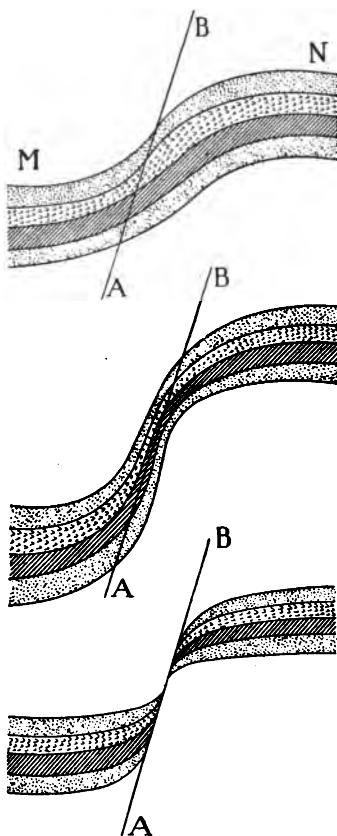

Fig. 8

Son á veces tan grandes estos *saltos* que presentan los terrenos, que llegan á alcanzar hasta centenares de metros, y si analizamos bien las condiciones de situación respectiva en que han quedado, la estratificación que ha permanecido inmóvil ó relativamente fija, y la que ha sufrido más intensamente la causa dinámica que la ha hecho variar de posición, encontraremos que la traslación no se ha efectuado sólo en el sentido de la línea de máxima pendiente de las paredes de la grieta, sino que, además de este movimiento en sentido que podríamos llamar vertical, ha habido un transporte general en sentido horizontal, de manera que, combinados ambos movimientos nos suponen la existencia de un movimiento giratorio de la masa que ha caído, alrededor de un eje más ó menos lejano de la superficie. Y si en ocasiones no podemos darnos cuenta de este giro por la posición de las capas, que nos-

otros vemos perfectamente paralelas entre sí, no deduciremos que el giro no tuvo lugar, sino que el eje estaba sumamente lejano.

Placeres

La naturaleza de las materias de que están compuestos algunos yacimientos, les hacen muy atacables ó corrosibles ya por los agentes atmosféricos ya por las aguas superficiales, de manera que van lentamente disgregándose, y los detritus producidos son arrastrados por los vientos y aguas á lugares más ó menos distantes del sitio de que han sido arrancados, donde quedan depositados, ocupando extensiones de terreno á veces considerables. Otras veces los detritus, sin ser arrastrados, quedan en el mismo yacimiento, formando sobre él una capa que, en ocasiones, puede alcanzar gran espesor.



Figs. 9, 10 y 11

Tanto en uno como en otro caso, los materiales

disgregados forman ya una masa de partículas sueltas de tamaños variados, mezclados con trozos de rocas, arenas, margas, arcillas, etc., ya una como roca sumamente quebradiza, ya una roca de gran dureza por la trabazón que alguno de los componentes puede dar al conjunto al actuar como cemento que los una ó aprisione.

Se comprende que esta clase de yacimientos, que son los que antes hemos denominado yacimientos detríticos, placeres ó aluviones, se han de encontrar preferentemente en las laderas de las montañas, en el fondo de los valles ó en los lechos de los ríos, por efecto de las leyes gravitatorias que tienden á arrastrar todo material pesado hacia las partes más bajas, constituyendo allí verdaderos terrenos de sedimentación aunque los materiales que los forman pueden proceder de muy distinto origen, es decir, pueden ó no ser de procedencia sedimentaria. En esta forma se presentan los más importantes criaderos auríferos, platiníferos y diamantíferos, y algunos de los de estaño y hierro. Como curiosidad, citaremos los auríferos de California, que ocupan una extensión de unos 50,000 kilómetros cuadrados.

Yacimientos superficiales

Los yacimientos superficiales son bancos actualmente en formación, originados por depósitos irregulares que van rellenando los huecos y concavidades que presenta el terreno. Ejemplo bien patente de ello son las turberas, cuyo origen es debido á la alteración química espontánea

de plantas herbáceas terrestres y acuáticas que se acumulan en lugares pantanosos ó muy húmedos; pero que faltando las condiciones de medio á propósito, no llegan á carbonizarse por completo como sucedió con las hullas, y nos dan sólo combustibles deficientes por la gran cantidad de materias orgánicas vegetales que contienen.

Yacimientos de formación posterior á la del terreno en que están enclavados

Hemos visto anteriormente que cuando los terrenos se encuentran sometidos á poderosos esfuerzos de compresión ó de tracción, se inician grietas, á veces de regular consideración por la distancia que separan las paredes de dichas grietas, ó por la extensión de terreno que interesan. Cuando estas grietas han sido de poca abertura, ó bien por movimientos posteriores del terreno se han juntado nuevamente las paredes, y por, lo tanto, las partes separadas del terreno han vuelto á ponerse en contacto, constituyen propiamente un *salto* ó *resbalamiento* (fig. 12); pero cuando entre las paredes de la grieta ha quedado un espacio cualquiera vacío, se denomina *falla* ó *soplado*.

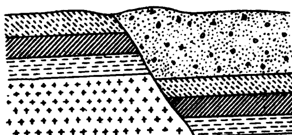


Fig. 12

Cuando este espacio no ha quedado vacío, sino que se ha rellenado con algún material, se denomina: *filón,* si el material procedía del interior del globo y era metalífero; *tifón,* si los materiales, aun-

que también de origen ígneo, no son metalíferos, y simplemente *dique,* si los materiales de relleno procedían de los mismos terrenos dislocados.

Dada la génesis de los filones, natural es que se presentarán como yacimientos de forma bastante aplanada, por el espesor casi siempre muy pequeño que tienen y por la gran longitud y profundidad á que alcanzan.

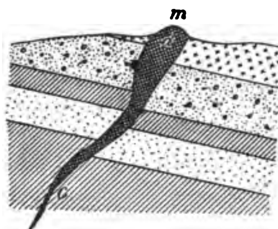


Fig. 13

Puede decirse, de un modo general, que, salvo raras excepciones, se presentan siempre atravesando los terrenos con gran inclinación, y suelen disminuir de potencia á medida que se va profundizando en el suelo, hasta terminar en forma de cuña y desaparecer (fig. 13). Esta parte *c,* más profunda, es la *cola* del filón, mientras que la parte *d,* más próxima á la superficie, es la *cabeza,* que en el caso particular de ser el filón de material más duro ó menos alterable que los terrenos atravesados, puede llegar á quedar al descubierto en la superficie formando la *floración, afloramiento* ó *crestón* ***m*** del filón.

Por analogía, se aplica también el nombre de afloramiento á las partes de los bancos que, por causas fortuitas hayan venido á ponerse al descubierto, á aflorar en la superficie; así como en los filones, se aplican las denominaciones de techo ó pendiente, y piso, muro ó yacente, á los dos planos entre que se le supone comprendido; y el

de potencia á la distancia que media entre ambos planos.

Las caras ó paredes de la roca en que está encajado el filón reciben el nombre común de *hastiales* ó *respaldos,* que no suelen verdaderamente estar en contacto directo con la masa filoniana, sino que entre filón y caja se encuentran las *salbandas,* que, generalmente, están constituídas por materiales arcillosos ó detríticos de distinta naturaleza que la masa del filón.

Las condiciones de un filón se determinan, análogamente á lo indicado al tratar de los bancos, por su dirección, inclinación y potencia. La línea de intersección de un plano horizontal con otro paralelo á las paredes del filón, es la línea de la dirección del filón, la cual se mide por el ángulo que forma con el meridiano geográfico ó magnético en aquel lugar, y la inclinación es el ángulo de estos dos mismos planos.

También aquí la línea de dirección de los filones ó de las grietas que los arman no siempre es recta, sino que puede presentar desviaciones notables que á veces no son debidas precisamente á irregularidades de la grieta primitiva, sino á causas posteriores á la época en que se efectuó el relleno. Por su parte, cosa parecida sucede con el buzamiento, que en algunos casos puede llegar á variar de tal modo, que se invierta la inclinación del filón.

En cuanto á la potencia, desde la que sólo alcanza algunos milímetros hasta la que presentan algunos filones de 40, 50 y 100 metros, hay todos

los espesores comprendidos, si bien estas potencias grandes no suelen ser frecuentes, siendo las de un metro, y hasta menos, ya bastante ventajosas en todos los métodos de beneficio.

Si variables son las condiciones que nos diferencian unos filones de otros, también dentro de un mismo filón hay notables variaciones; ora se presentan constituyendo una lámina de potencia sensiblemente constante ora forman extrangulamientos, ora rehenchimientos. En el segundo caso, es decir, cuando las paredes de un filón tienden á acercarse, y, por lo tanto, á disminuir su potencia, se dice que el filón *se cierra,* y cuando, por el contrario, las paredes tienden á separarse, y, por lo tanto, á aumentar la potencia, se dice que el filón *se abre;* y si llega á desaparecer del todo, se dice que el filón *se pierde,* ó *se corta,* según que desaparezca paulatinamente por disminución de potencia, ó que desaparezca de improviso por alguna falla ó salto que presente el terreno.

La sucesión cercana de aumentos y disminuciones de potencia nos da la forma de *rosarios,* constituídos por número variable de *cuentas* ó *lentejas*.

No siempre los filones que se pierden llegan á desaparecer del todo, sino que, fijándose bien en el terreno, se puede observar que continúan en un hilo muy delgado que permite seguir al filón y encontrarle á cierta distancia, y, si realmente llega á perderse hasta esta somera guía, suele encontrarse de nuevo á no muy considerable distancia en

forma de pequeñas venas desparramadas, que van engrosándose y unificándose hasta reaparecer el filón en las mismas condiciones de antes.

Relación de los filones entre sí y con los terrenos que los arman

Es caso muy raro que en una comarca exista un solo filón ó sólo filones de la misma naturaleza. Lo más común es que en un terreno no se haya producido una sola grieta, sino que ya hemos visto que se producían un sin fin de ellas próximamente paralelas entre sí, y que si luego, por unas ú otras causas, se ponían en contacto con materias de relleno, es natural que todas, ó casi todas, se llenasen con la misma substancia.

Por otra parte, un terreno así resquebrajado tiene que presentar indudablemente poca resistencia á los esfuerzos á que posteriormente se haya visto sometido por los fenómenos geológicos, y, por lo tanto, no es de extrañar que si se ha encontrado en tales circunstancias, se ha agrietado nuevamente, ya en la misma dirección primitiva, ya en otra cualquiera, abriéndose un nuevo sistema de grietas que puede más adelante ser ó no ser invadido por materias extrañas, generalmente de distinta naturaleza de la que llenó el primer sistema de grietas, y así sucesivamente. Pueden citarse ejemplos de *sistemas filonianos* de importancia; así han llegado á encontrarse hasta unos 900 filones en la zona minera de Freiberg; y en España, en Linares, hay ocho sistemas distintos; en Mazarrón, cuatro, y en Hiendelaencina, también cuatro.

Dedúcese de todo ello el fundamento que tiene la regla de que *en una misma comarca los filones de igual naturaleza sigan direcciones aproximadamente paralelas entre sí,* constituyendo un sistema, y que los de naturaleza distinta de ésta sigan otras direcciones, constituyendo otros tantos sistemas filonianos.

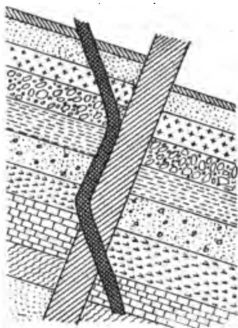


Fig 14

Es muy corriente que los filones de distinto sistema se encuentren, ya en el sentido de su dirección, ya en el de la inclinación, y entonces puede suceder ya que el filón más antiguo desaparezca completamente en un gran trecho, ya que se unan ambos, y así unidos continúen un trecho largo ó no (fig. 14), constituyendo las *fallas simuladas,* ya que simplemente se crucen, en cuyo caso el filón cruzante continúa su marcha á través del cruzado (fig. 15), generalmente sin modificar su ruta, y que el filón cruzado quede dividido en dos partes, que muchas veces quedan á nivel distinto formando un salto que puede medir hasta centenares de metros.

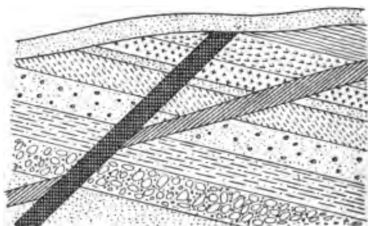


Fig. 15

Cuando dos filones se cruzan ó unen suele haber

aumento de riqueza, *ennoblecimiento,* en las proximidades del punto de reunión, si ambos filones son metalíferos; pero si uno de ellos es estéril, por lo general hay *empobrecimiento.*

Ya se ha dicho, anteriormente, que una de las características de los filones es la de cortar con cierta inclinación á las capas de los terrenos atravesados. Pero la circunstancia de que algunos filones están dispuestos con cierto paralelismo á dichos terrenos, podría sugerir la duda de si deben considerarse como filones ó como bancos, y para solucionarla no queda otro medio que efectuar un estudio detenido de la composición y estructura del filón y del terreno, y con seguridad que no será difícil reconocer si son ó no de formación posterior á la del terreno, y, por tanto, de si deben ser clasificados como filones ó como bancos; y si pudiésemos seguir un trecho algo importante á este filón veríamos que á cierta distancia se introduce bruscamente en los terrenos vecinos, cortándolos con inclinación más ó menos pronunciada.

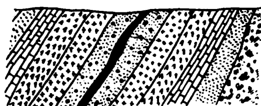


Fig. 16

Cuando los terrenos entre que está armado el filón son pertenecientes á una misma formación sedimentaria, el filón recibe el nombre de *filón capa* (fig. 16), pero cuando dichos terrenos corresponden á formaciones diferentes, sean ó no sedimentarios, entonces se le llama *filón de contacto* (fig. 17). Cuando un filón se presenta como filón

capa en trechos sucesivos, se le califica de *filón en escalera* (fig. 18).

Los filones se dividen á veces en ramas, en varios otros filones de menor importancia. Cuando estas ramas, después de haber permanecido separadas de la rama principal durante cierto trecho, vuelven á reunirse con ella, se les llama *ramas conjuntivas* ó *arqueadas;* pero, lo más corriente es que las ramas separadas de un filón vayan á perderse á poca distancia de él *(ramas disyuntivas),* reduciéndose á pequeñas venas ó venillas, sobre todo si se trata de alguna de esas comarcas mineras tan trastornadas en que las ramificaciones son numerosas.

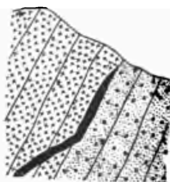


Fig. 17

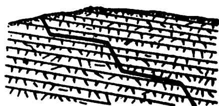


Fig. 18

Cuando los yacimientos son de forma irregular, y en ocasiones de extensión igual en todos sentidos, con gran número de pequeños filones metalíferos diseminados en todas direcciones, cruzándose y entrelazándose en un espacio de poca consideración, reciben el nombre de *masas entrelazadas* ó *stockwercks* (fig. 19). Á menudo estos yacimientos son cruzados integralmente por filones de naturaleza diferente y de formación evidentemente posterior á la del stockwerck.

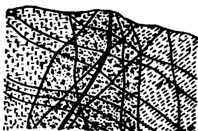


Fig. 19

La explotación ó beneficio de los stockwercks suele ser muy onerosa, pues para el aprovechamiento de la mena es necesario disgregar toda la roca ó masa.

Teorías sobre la formación de los filones Es difícil poder atribuir á una sola causa la formación de los filones; parece ser que las acciones ígneas y las hidroquímicas son las que más intervinieron en ella, de manera que se consideran hasta tres modos distintos de rellenarse las grietas que el terreno presentaba, como consecuencia de dislocaciones ó trastornos anteriores, que es lo más general. En ocasiones muy contadas, el relleno fué simultáneo con la formación de la grieta.

De tres maneras puede haberse rellenado el filón: por inyección, por concreción, ó por sublimación. Debe entenderse, por lo tanto, que las tres teorías que á continuación exponemos, no son teorías distintas sobre un mismo fenómeno, sino tres distintos fenómenos explicados cada uno por su teoría propia.

Á los filones rellenos *por inyección* se les supone un origen eruptivo, y se cree que la masa líquida del interior del globo que se encuentra sometida á enormísimas presiones, al estar accidentalmente en comunicación con algunas grietas abiertas en la corteza terrestre, se introdujo por ellas y hasta en algunos puntos pudo derramarse por la superficie después de haberlas completamente llenado. Estos filones casi nunca son metalizados, sino que prefe-

rentemente se han formado así los filones estériles ó tifones, que en consonancia con su origen se presentan constituyendo una masa pétrea homogénea, salvo las cristalizaciones que se hayan podido producir por determinadas acciones, y de volumen relativamente grande cerca de la superficie sobre la cual á menudo ha desbordado la materia ígnea.

La acción inyectiva ha influído principalmente en los puntos más próximos al eje del antiguo ó actual levantamiento que las grietas suponen y en que, por ser éstas de mayores dimensiones, más intensidad han podido permitir al fenómeno de inyección. Pero en puntos lejanos á este radio de máximo efecto en que las comunicaciones subterráneas, por la menor energía del fenómeno que causó la fisuración, son menos fáciles á los materiales líquidos ó pastosos por su relativa estrechez, pero todavía fácilmente permeables á los gases, mezclados ó no con vapor de agua, las grietas se han llenado de estos gases y se ha verificado un fenómeno de *sublimación,* que por enfriamiento ha depositado en las paredes de la grieta las substancias que los componían en orden sucesivo de menor á mayor volatilidad, y, por lo tanto, presentando una estructura simétrica á partir de las paredes hacia el centro en el que todavía hoy se encuentran, á veces, substancias líquidas ó gaseosas, y otras veces formando simplemente *drusas* ó *geodas,* que son huecos cuyas paredes están cubiertas de cristalizaciones de la materia constitutiva del filón en aquel lugar. Estas *drusas,* ordinariamente, no se encuentran ya á más de 200 metros de profundidad.

Por fin, las grietas llenadas por *concreción,* que son las que constituyen la casi generalidad de los filones propiamente dichos ó filones metalíferos, se supone que fueron invadidas por las aguas mineralizadas cuya elevada temperatura, unida á la gran presión que soportaban, les daban un poder disolvente enorme. El cambio de temperatura que les suponía el contacto de partes del globo terrestre más frías, y la disminución simultánea de presión y temperatura que la expansión les ocasionaba, dieron lugar á que las substancias disueltas quedasen libres y fuesen depositándose en las paredes á medida que abandonaban el vehículo que hasta allí las había conducido. Por lo tanto, también estos filones nos presentarán extructura simétrica á partir de las paredes, y también observaremos en algunos de ellos las acumulaciones de gases, líquidos ó materias sólidas puras ó casi puras y cristalizadas, que los fenómenos de relleno por sublimación nos habían explicado antes.

Composición de los filones y distribución del mineral en el filón

La génesis de los filones metalíferos por concreción ó sublimación, explica perfectamente el que los minerales no se encuentren en los filones formando toda su masa, sino que estén mezclados con materias de naturaleza no metalífera (pétrea), que constituyen la ganga.

Las cantidades relativas de mineral y ganga son las que determinan la riqueza de los filones; así, cuando domina el mineral el filón es rico, y si

domina la ganga el filón es pobre; y si no contiene ninguna substancia explotable el filón es estéril.

De todos modos, la riqueza de un yacimiento, en general, es concepto muy relativo, pues considerada en el sentido de beneficio ó ganancia reportada por dicho filón, dependerá de muy diversas circunstancias y principalmente del valor del mineral que contenga, de la cantidad de materia útil que el mineral lleve, de la facilidad de explotación que nos presente el yacimiento, tanto respecto al arranque como al transporte, de la sencillez del procedimiento metalúrgico, etc.

Las gangas de los minerales están regularmente compuestas de sílice (cuarzo, jaspe, ágata, etc.), cal carbonatada ó espática, fluoruro cálcico, sulfato bárico, etc., y, por lo general, no es de una sola clase en toda la extensión ni siquiera á veces en todo el espesor del filón, sino que varía de unos lugares á otros, si bien predominando siempre una clase de ganga sobre todas las demás. Sucede á veces, y tiene su explicación, que determinada clase de ganga predomina en todos los filones de igual naturaleza de una cuenca minera.

Al igual que las gangas, los minerales rara vez están solos en los filones, sino que van acompañados con otros minerales. Así, el estaño casi siempre se encuentra junto con el arsénico; el cobalto es casi constante junto al níquel y muy frecuentemente acompaña á la plata y al arsénico; el plomo, la plata, el cobre y el cinc se encuentran juntos casi siempre; el antimonio va con la plata, y las piritas, en general, se encuentran en todos los minerales.

En cuanto á la distribución de ganga y mineral en un filón, ya se presentan sin orden ni simetría alguna, ya se reparten en capas paralelas á las paredes del filón, con drusas en la parte central.

Esta simetría de los filones es, por lo regular, *sencilla,* pero en algunos casos presentan la *simetría múltiple,* que es debida á la reapertura de filones de simetría sencilla y relleno posterior, con formación de una nueva simetría sencilla sobre la existente primitivamente.

En el caso en que el mineral y ganga no presentan simetría alguna, por lo general, el mineral va completamente diseminado por entre la ganga, formando pequeñas venas de extensión á veces muy limitada; y otras veces se concentra el mineral en masas irregulares de volumen muy variable, repartidas sin orden en la ganga, en forma de *nidos* ó *riñones* cuya explotación es siempre difícil.

La riqueza del filón no suele ser uniforme en todo él. Á regiones ricas suceden á veces de improviso partes pobres, pudiendo citarse casos en que el empobrecimiento ha sido completo á sólo veinte metros de profundidad; y á regiones pobres pueden suceder otras ricas. En el primer caso, se dice que se presenta una *borrasca,* y en el segundo, que se aproxima una *bonanza.* Hay filones que presentan una serie indefinida de borrascas y bonanzas.

En ocasiones, se encuentran en la masa del filón *caballos,* ó sean trozos de la roca de caja; si bien es de advertir que ciertos criaderos aprisionan en su

masa rocas venidas de la superficie, que pudieran ser consideradas como caballos sin serlo propiamente.

Alteraciones superficiales de los yacimientos

En la generalidad de los casos, los yacimientos en su región más próxima á la superficie, tanto en el caso de aflorar como en el caso en que no queden al descubierto y en contacto de la atmósfera, presentan distinta composición de la que tienen en regiones más profundas, y hasta en ocasiones son de distinta naturaleza. Esto que de momento puede parecer una anomalía, tiene su explicación muy sencilla en la acción que los agentes atmosféricos y las aguas subterráneas correspondientes al *nivel hidrostático* (1) de la región en el caso de ser un yacimiento que aflore, y en la acción de dichas aguas subterráneas en el caso de no aflorar, puedan ejercer sobre el mineral. Existe, pues, una transformación continua de estas partes superficiales, pudiendo diferenciarse hasta cuatro zonas de distinta intensidad de alteración. Ante todo, á partir de la superficie, existe por lo general una capa de tierra vegetal que recubre al yacimiento. Sigue luego una capa superficial de oxidación, pues las aguas que hasta ella llegan procedentes de la superficie, llevan gran cantidad de oxígeno en disolución, caracterizable por la presencia, en los casos corres-

(1) Nivel hidrostático es el nivel estable á que alcanza el agua de un pozo aun en las épocas de mayor sequía.

pondientes, de óxido férrico, metales nativos, óxidos, carbonatos ó cloruros insolubles. Viene después una zona más importante de cementación ó descalcificación, en que se verifican reacciones químicas complejas, y en cuya base suele existir enriquecimiento por el descenso de substancias disueltas á nivel superior. Y, por fin, la zona inalterada que está por debajo del nivel hidrostático del lugar cuyas aguas no circulan rápidamente y están, por lo general, desprovistas de elementos de enérgica acción química.

De manera que estas alteraciones superficiales pueden darnos, como último resultado, ya el cambio de composición química, ya enriquecimientos, ya empobrecimientos de la substancia filoniana. Así, por ejemplo, los yacimientos de *minerales de hierro* presentan en la superficie una capa de hematites parda sobre la hematites roja; los yacimientos de pirita suelen ser de siderosa en la superficie, cuando el terreno es calizo; pero si el terreno es pizarroso no hay siderosa, sino que se encuentra hematites.

Los *minerales de cobre* suelen ser carbonatos (azurita ó malaquita) en el afloramiento, especialmente si el terreno es calizo, y también á veces cobre nativo ú óxido. Cerca del nivel hidrostático, en la zona de cementación, se encuentran á menudo juntos el cobre gris con la siderosa en el caso de ser un yacimiento de piritas de cobre y de hierro, antimoniosas ó arsenicales. El *manganeso* que suele presentarse en la naturaleza en forma de carbonatos ó silicatos, tiene los afloramientos de óxido. El

plomo puede aflorar en forma de carbonato. El *cinc* nos muestra calamina, etc.

Como ejemplo de transformación absoluta de naturaleza, podrían citarse filones de galena que en la superficie lo son de cobre carbonatado.

Reglas de Schmidt y de Zimmermann

Hemos dicho que al cortarse bruscamente un filón ó capa no ha de abandonarse la explotación, sino que ha de buscarse su continuación en la región opuesta de la falla en que se ha producido su pérdida. Si se tiene conocimiento exacto de la sucesión de terrenos en aquel punto, será en muchas ocasiones tarea fácil encontrarle atravesando la falla y estudiando la disposición de las capas que encontremos allí. Pero si no se tienen suficientes conocimientos sobre la geología particular de aquella región, ó si la capa explotable está situada en el seno de un banco de gran potencia, ó, en general, cuando no se pueda precisar hacia qué región debemos encaminar las investigaciones, acudiremos á las reglas de Schmidt y de Zimmermann.

La experiencia adquirida en el estudio de las fallas y cruzamiento de filones, indujo á Schmidt á proclamar que *en la mayoría de casos el techo de la falla ha descendido resbalando sobre el piso según su línea de máxima pendiente,* suponiendo que el piso ó yacente permanece fijo (fig. 20). Esta ley se ha formulado de varios otros modos, de los cuales el más común es el que señala la continuación del criadero *del lado del ángulo obtuso formado por*

criadero y falla. Pero debe observarse que este modo de enunciar la regla de Schmidt nos induciría á error en los casos como el indicado en la fig. 21 en que, á pesar de ser el techo el descendido, el criadero está del lado del ángulo agudo, y, por lo tanto, siguiendo la regla del ángulo obtuso cada vez nos separaríamos más del criadero en nuestras investigaciones.

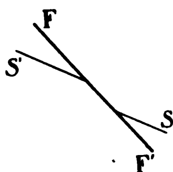


Fig. 20

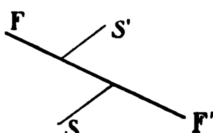


Fig. 21

De otras maneras se ha enunciado también esta regla, siendo las más populares las dos siguientes:

1.° *Falla por el techo, criadero en el techo.* — *Falla por el piso, criadero en el piso.* — Esto es, que cuando se tropieza con el techo de la falla, el criadero se encuentra por la región del techo del criadero; y, análogamente, cuando se encuentra la la falla por su piso, el criadero está hacia la región del piso del criadero (fig. 20).

2.° *Falla por la cabeza, criadero por los pies.* — *Falla por los pies, criadero en la cabeza.* — Esto es, cuando el minero tiene la falla situada sobre su cabeza, ha de dirigir su investigación hacia la región inferior, que tiene á sus pies; y cuando la tiene á los pies ha de buscar la continuación del criadero hacia arriba (fig. 20).

Se llama *salto anormal* ó *contra la regla* (fig. 21), cuando tiene lugar en sentido contrario á lo común y ordinario, que es lo indicado en la fig. 20, es decir, cuando es el techo el que se ha levantado ó el piso el que ha descendido. Y como nada hay en el criadero ni en la falla (ya se ha visto en qué casos quedan vestigios que puedan guiarnos) que nos indique si el salto es normal ó no, se efectuarán primero los trabajos como si el salto fuese normal; y si éstos no dan resultado, se procede entonces en sentido del salto contra la regla.

Pero la regla de Schmidt únicamente nos da la componente vertical del movimiento de giro que trasladó el terreno. De manera que sólo estaríamos orientados á medias si Zimmermann no la hubiese completado con la regla que lleva su nombre, si no hubiese precisado hacia qué lado se ha efectuado el movimiento. Según Zimmermann, para saber hacia qué lado en sentido horizontal hemos de dirigirnos, trazaremos en el punto *O*, en que se encuentran filón *SS'* y falla *FF'*, una perpendicular *P* á la línea de dirección de la falla por la región en que la hemos encontrado; y si esta perpendicular queda á la derecha ó la izquierda de la prolongación de la línea *MN* de intersección de los planos del filón y falla, dirigiremos los trabajos hacia la izquierda ó hacia la derecha para hallar la continuación del filón (fig. 22).

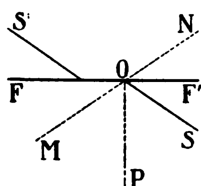


Fig. 22

CAPÍTULO II

PROSPECCIÓN

Generalidades

Toda explotación minera supone cuatro períodos distintos, antes de llegar á su beneficio.

En primer lugar ha sido necesario buscar el sitio en que la mina está enclavada (prospección ó exploración).

En segundo, debió adquirirse la convicción de que su beneficio daría resultados (reconocimiento y apreciación).

En tercero, fué necesario preparar las labores para que su explotación fuese lo más económica y completa posible (labores preparatorias para la explotación).

Y en cuarto lugar, se entró de lleno en su explotación (explotación ó beneficio).

De estas cuatro fases, la primera y la segunda son períodos perfectamente limitados. No así la tercera y cuarta, que casi siempre se efectúan al mismo tiempo, pues á medida que adelanta el agotamiento

de la masa mineral de unas labores, se procede á preparar el beneficio de labores más profundas; sin querer esto suponer que esta simultaneidad de operaciones esté en pugna con los principios generales del laboreo de minas que se dan más adelante.

Necesidad de poseer conocimientos geológicos

Los trabajos de prospección ó de investigación de minas, á pesar del carácter fortuito, de casualidad, que supone el descubrimiento de un afloramiento ó yacimiento, se efectúan siguiendo ciertas indicaciones que en algunos casos casi llegan á la categoría de reglas. No de otra manera pudieran haberse descubierto el sinnúmero de criaderos que no afloraban y que hoy por su explotación son la riqueza del país en que están enclavados. Estas indicaciones son, sin embargo, á veces sumamente problemáticas, y obraría sin prudencia quien, fundado sólo en ellas, emprendiera trabajos de consideración encaminados á descubrir algún criadero. Pero las hay, repetimos, tan manifiestas, y se ajustan tanto á la experiencia y enseñanzas de la Geología y ciencias afines, que han de conducir casi indefectiblemente á buen término todo trabajo emprendido.

El estudio minucioso de la constitución geológica de una comarca, es la base más firme en que puede apoyarse todo trabajo de investigación minera. Los minerales no han aparecido en todos tiempos ni en todas partes, sino que se formaron en épocas determinadas, y en determinados lugares. El

saber conocer la edad y naturaleza de los terrenos, ha de ayudar, pues, en gran manera, al prospector en sus trabajos de investigación, ya que siendo evidente que cada mineral tiene su ó sus terrenos propios, sería trabajo perdido buscar determinadas especies mineralógicas en terrenos en que no han de ser encontradas, á menos que algún fenómeno ó trastorno especial las haya llevado á ellos.

Es tan evidente esta coexistencia de ciertos minerales en determinados terrenos, que se consideran algunos de ellos como peculiares de dichos terrenos. Así, por ejemplo, los minerales de *estaño* se encuentran casi exclusivamente en las rocas graníticas y porfídicas, y raramente en las pizarras micáceas; los de *plata,* en rocas antiguas, ya en forma de bancos, ya en la de filones, nidos ó stockwercks, siendo la forma de banco propia de los terrenos permianos; los de *hierro* se encuentran casi en todos los terrenos, si bien observando que cada uno de éstos tiene como preferidos minerales de composición distinta, así, por ejemplo, las piritas se encuentran comúnmente en los pisos triásico y liásico, y en la parte inferior de los cretáceos; los de *cobre* se encuentran en las rocas porfídicas, graníticas y análogas, constituyendo filones, bancos ó masas; el *plomo* es bastante general en los terrenos comprendidos desde el cambriano al carbonífero, y también en el triásico, el *cinc* se encuentra en las calizas devónica, carbonífera, triásica, jurásica y cretácea; el *mercurio,* en las formaciones carbonífera, jurásica y cretácea, y alguna vez en los terrenos terciarios; el *antimonio,* por lo general,

en los terrenos antiguos; el *manganeso,* en las pizarras cristalinas; las *hullas* y *antracitas,* en la región hullera de los terrenos carboníferos en compañía de las rocas graníticas y pórfidicas; los *lignitos,* en las rocas terciarias inferiores, y la *turba,* sólo en los terrenos modernos; el *azufre* nativo y la *sal gema* se encuentran casi exclusivamente en los terrenos terciarios, el primero junto á rocas volcánicas ó arcillas, y la segunda constituyendo bancos y masas, etc., etc.

Hay, además, otra causa que permite deducir la presencia probable de ciertos minerales en un terreno, y es la frecuencia con que algunos de ellos se presentan juntos, de manera que si el terreno es apropiado ya de por sí, y además notamos la presencia de uno de estos minerales podremos creer en la existencia casi cierta del otro. Por ejemplo, los minerales de plomo, cuando están encajados en barita van muy frecuentemente acompañados de galena; en Riffen (Sajonia), los filones de estaño se cambian en cobre argentífero á mayor profundidad; algunos yacimientos petrolíferos han sido descubiertos por la presencia de manantiales salinos; el cuarzo, por ser la ganga más frecuente del oro, puede conducirnos á encontrar un yacimiento de dicho metal, etc.

Repetimos, pues, lo que antes afirmábamos. El conocimiento geológico de la comarca que exploremos, es la mejor guía para el prospector, pues con ellos y auxiliado de la Paleontología podrá determinar la edad de los terrenos, y, por lo tanto, sabrá si en los terrenos en que esté efectuando

la investigación podrá encontrar los minerales que busca, y sabrá conocer cuando de una clase de terrenos pasa á otros distintos y si en ellos puede continuar la investigación comenzada en los primeros. Natural es, que además de estos conocimientos geológicos deberá ser un experto mineralogista, puesto que á nada le conduciría saber si un terreno contiene determinados minerales si luego no sabe reconocer estos minerales cuando los tiene en su presencia.

El problema, pues, de la investigación de minerales se nos presenta en dos formas distintas, que son: 1.ª, conocida la clase de terreno, saber la clase de minerales que en él podemos encontrar, y 2.ª, deseando encontrar determinada clase de minerales, saber en qué terreno pueden ser encontrados. Para la resolución de ambos casos puede ser de grande utilidad un estado, debido á Colomer, que copiamos aquí para que se vea claramente lo relacionados que se encuentran algunos minerales con los terrenos que los arman, pues en él, frente á los nombres de los distintos pisos geológicos, van indicados los sedimentos y los filones que más comunes les son:

Cuadro para la investigación de minerales

SUBDIVISIÓN GEOLÓGICA		SEDIMENTACIONES	FILONES
Terreno moderno		Turbas de la Somme Aluviones auríferos	Azufre volcánico
Terreno cuaternario		Aluviones de oro, de plata y de platino Aluviones estañíferos de Banka Turba	Azufre de las puzzolanas
TERRENO TERCIARIO	Plioceno	Lignito de Isero Mineral de hierro en gránulos	Mineral de hierro
	Mioceno	Asfalto de Seyssel Betún de Alsacia Lignito de Manosque Cobre de Boleo	Antimonio y mercurio en Toscana Cobre en Argelia
	Eoceno	Sal gema de los Carpatos Fosfatos Lignitos de Soissons Azufre de Sicilia Formaciones carbonosas de Saboya Manganeso del Cáucaso	Galena en los Alpes inferiores
TERRENO CRETÁCEO	Daniense Senoniense Turoniense Cenomaniense	Lignito de la Charente Mineral de hierro de Bilbao	Hierro oligisto de la isla de Elba Cobre de Toscana Mineral de hierro de Toscana Cobre de Argelia
	Albiense Aptiense	Minerales de hierro Fosfatos	
	Barremiense Neocamiense	Lignito de Ariège Mineral de hierro oolítico de Berri	
TERRENO JURÁSICO	Portlandiense	Lignito de Purbeck	Pirita de hierro hidroxidado de Gard
	Kimeridgiense Secuaniense	Caliza litográfica Mineral de hierro	Sulfuros complejos en los Alpes superiores
	Oxfordiense Calloviense Batoniense Bajociense Toarciense	Piedras litográficas Betún en Isero Mineral de hierro Lignito Mineral de hierro del E. de Francia	Galena en el Gard Calamina de Malinas Cobre gris y piritoso en Cevennes
	Liasiense	Nódulos de cobalto oxidado	Cobre, plomo y plata en los Alpes
	Sinemuriense	Nódulos de manganeso oxidado	
	Hetangiense Retiense	Mineral de hierro de Rancié Mineral de hierro en Dos Sèvres	

Cuadro para la investigación de minerales

SUBDIVISIÓN GEOLÓGICA		SEDIMENTACIONES	FILONES
TERRENO TRIÁSICO	Margas irisadas	Hulla seca de Norroy en los Vosgos Carbón de Richmond en América Lignito Carbón en la India Minerales de hierro en Gard y Ardèche Sal gema y betún en Alsacia Sal gema	Cobre en Gard Pirita en Gard Galena argentífera en Ardèche Mercurio de Idria Manganeso en Lozère Cobre gris y sulfurado
	Muschelkalk	Betún Cinc y plomo en la Silesia alta Mármoles de Carrara Cobre carbonatado de Chessy	Hierro espático y hematites
	Gres abigarrada	Hierro oxidado rojo Manganeso oxidado	
TERRENO PÉRMICO	Turingiense Sajoniense Antuniense	Sal gema Gres cuproso de Perm Pizarras cuprosas de Mansfeld y de Harz Nula	Hematites parda Plomo fosfatado
TERRENO HULLERO	Estefaniense Westfaliense Antracífero	Hulla Pizarras betuminosas Pizarras piritosas Antracita Hierro en Inglaterra	Pirita cuprosa de Huelva y Río Tinto Cinc de Moresnet Plomo de Inglaterra
Terreno devónico		Cobre de Rammelsberg Grafito Hierro en Austria	Plomo argentífero de Poullaoneu y Huelgoat Manganeso en los Pirineos
TERRENO SILÚRICO	Gotlandiense	Hierro de Krivoï-Rog Calaminas en Vieille Montagne y en Stolberg Manganeso en Grecia	Antimonio en Vendée Galena del Harz y de Przibram Bismuto
	Ordovinense	Pizarras de Angers y de Ardennes	Mercurio de Almadén
	Cámbrico	Hierro en Bretaña Nódulos de Manganeso Cobre de Noruega	Cinc de Laurium Cobre nativo del Lago Superior Fosforitas

(Sigue)

Cuadro para la investigación de minerales

SUBDIVISIÓN GEOLÓGICA	SEDIMENTACIONES	FILONES
Pizarras micáceas	Antimonio Plomo argentífero de Vialas Hierro oxidulado de Suecia Hierro espático Manganeso Cobre piritoso Cinc Nódulos de cromo	Hierro espático de Allevard Hierro oxidulado de Argelia Plomo argentífero de Pontgiband Mercurio, cobalto y níquel de Challanches (Isero)
Gneis	Hierro occidulado de Danemora Grafito	Estaño oxidado Galena de Sajonia Pirita de Chessy y de Saint-Bel Filones de cobre, plomo y plata
Granitos		Estaño oxidado de Villeder Cuarzos auríferos Manganeso de Romanèche Hierro oligisto. — Magnetita Cobre y estaño de Cornualles

Se comprende inmediatamente que para la aplicación de este cuadro se requiere el reconocimiento previo de la edad y naturaleza del terreno, para saber reconocer prácticamente en presencia de qué terrenos nos encontramos, ó si los terrenos que buscamos pueden estar ó no en las inmediaciones de aquel en que nos hallemos, lo cual, aunque algunas veces es problema de dificilísima solución, es en la mayoría de los casos relativamente fácil de determinar.

Determinación de la edad de un terreno

Hemos visto en las nociones generales que de Geología hemos

dado, la manera como han ido depositándose los terrenos y los sucesivos trastornos á que estos terrenos se han encontrado sometidos, trastornos que en algunos puntos han hecho variar de una manera completa la estratificación primitiva. Parece, pues, como decíamos, que en algunos casos será muy difícil, por no juzgar imposible, despejar la incógnita de la edad de los varios terrenos que constituyan el suelo y subsuelo de una comarca muy trastornada.

Afortunadamente, nos han quedado medios suficientes para fijar, casi con seguridad, la edad, la época, en que se formaron, por revolucionada que sea la comarca, medios que no se fundan precisamente en la naturaleza del material de que está compuesto el suelo, pues ha habido en ocasiones sedimentación de terrenos de igual clase en épocas relativamente distantes, sino en la disposición en que se encuentren colocados los terrenos posteriores con respecto á los que fueron víctimas de los fenómenos geológicos que los modificaron; pero, principalmente, son los restos de los organismos vegetal y animal que en ellos se encuentran, los que nos guían mejor para conocer la edad de un terreno con respecto á los demás. En efecto; la vida vegetal y la vida animal, pero principalmente esta última, en lo que se refiere á la de los mares, adquirió un carácter de generalidad que ningún otro elemento tuvo. Las condiciones especiales de medio en que se encontraban los animales que vivían en los mares, les permitieron desarrollarse y vivir en extensiones mucho mayores, mucho

más considerables, que no podían hacerlo los animales terrestres y menos todavía los animales de los lagos y mares interiores. Se comprende, por lo tanto, que los restos de los seres vivientes de los mares se encuentren esparcidos, aprisionados, en toda la extensión de los terrenos de sedimentación que se formaron en el fondo de dichos mares.

Por otra parte, las especies animales, tanto terrestres como marinas, han evolucionado de un modo continuo desde su aparición á la vida hasta nuestros días. Durante los miles de siglos que supone el conjunto de períodos que han disfrutado de vida orgánica, aparecieron, se modificaron y desaparecieron infinidad de especies. De manera que cada terreno se caracteriza por la aparición de especies nuevas ó por la modificación ó desaparición de especies que vivían en edades anteriores. Nos constituirá, por lo tanto, esta particularidad una base sólida en que apoyar la caracterización de un terreno, ó sea para fijar independientemente de todo trastorno geológico el período en que se formó.

Otro tanto podríamos decir en lo que respecta á la vida animal terrestre y á la vida vegetal. Pero sus indicaciones no pueden abarcar extensiones grandes de terrenos y, por lo tanto, tendrán un carácter más bien local que general, si bien los hay, como los terrenos carboníferos, que pueden ser considerados con un carácter de universalidad del todo merecido.

Resumiendo: por los restos de los seres organizados que encontremos en un terreno, conoceremos

la época en que se formó; y conocida esta época sabremos las diferentes especies minerales que en él pueden encontrarse.

Consideraciones que ha de tener presentes el prospector

Vista la importancia primordial que ha de concederse al conocimiento geológico de la comarca que se ha de explorar, vamos á pasar revista de las enseñanzas geológicas que más útiles pueden sernos, y de las otras circunstancias que ha de tener presentes el que quiera hacer algún trabajo encaminado al descubrimiento de yacimientos de minerales y de la manera que ha de conducirse según sean estas circunstancias.

Guía geológica

Dos son las leyes geológicas que más han de auxiliar al prospector cuando explore comarcas en que ya se conocen otros criaderos. Una de ellas se refiere á la *prolongación* de los yacimientos minerales según su propio plano; la otra al *paralelismo* que suelen guardar estos mismos yacimientos entre sí. Y, en efecto, es sencillamente evidente que debemos considerar indefinidas tanto las grietas en que se han armado los filones, como los bancos en que se depositaron antiguamente las materias de sedimentación, pues tanto unas como otros interesaron extensiones inmensas del globo terrestre.

Por lo tanto, hemos de suponer que todo yacimiento que aparentemente se cierre ó pierda, ó que

se oculte por quedar cubierto por otras formaciones más modernas, ha de continuarse todavía, y, por lo tanto, que pasado un trecho ó extensión más ó menos considerable de terreno, ha de encontrarse nuevamente; por otra parte, cuando vemos desaparecer repentinamente algún criadero, porque alguna falla ha quebrado el terreno de caja, ya sabemos cómo hemos de proceder para ir en busca de su continuación en la región opuesta de la falla. Casos numerosos podrían citarse de comarcas mineras muy florecientes en la actualidad, que antes eran absolutamente ignoradas, y que si no se hubiese aplicado la regla de la prolongación de los yacimientos, quizás hubiesen continuado siéndolo durante una infinidad más de años. Como ejemplo de importancia, bien cercano á nuestro país, mencionaremos la prolongación de la cuenca hullera belga, ó sea, la cuenca hullera del Norte de Francia, que permaneció ignorada hasta no hace muchos años porque quedaba cubierta por otros terrenos.

Por lo que respecta al *paralelismo de los criaderos,* no hemos de insistir después de lo que llevamos dicho en el capítulo primero, sobre los campos de fractura ó cuencas mineras, pues no sólo vimos su formación sino también su metalización. Sólo diremos aquí que también se aplica esta regla á los terrenos de sedimentación, pues como formados todos ellos horizontalmente, salvo las irregularidades que hayan podido causar los trastornos geológicos, han de encontrarse guardando cierto paralelismo entre sí; y como que, generalmente, en la

sedimentación se han producido alternativas de aposamientos entre dos ó más substancias, es probable que si una capa de determinada substancia nos es conocida, que se encuentren otra ú otras análogas y paralelas á ella en sus proximidades, siempre que no salgamos de la formación geológica á que corresponda la capa conocida.

Señales superficiales

Por muchos conocimientos técnicos y geológicos que adornen al prospector no debe, con todo, despreciar los datos que el aspecto del terreno le ofrezca ó que tanto los naturales del país como la historia del lugar le suministren. La más segura de todas las indicaciones será, innegablemente, el descubrimiento de algún afloramiento, que nos marcará la situación del yacimiento, ó bien el de manchas ú otros indicios como, por ejemplo, eflorescencias salinas, desprendimientos gaseosos ó determinadas rocas que nos convencerán de la presencia, en profundidad del yacimiento de cuya descomposición proceden.

No es de encarecer la importancia de estos indicios, pues de sobra salta á la vista; las explotaciones mineras que en los tiempos anteriores al gran desarrollo que en el siglo XIX alcanzó la Geología, sólo por estos signos visibles fueron descubiertas, como se puede deducir del hecho de que casi todas presentan señales de haber aflorado, y hoy mismo, en que es sumamente difícil poder encontrar afloramientos de yacimientos de los minerales que los antiguos ya explotaban (tan

conocidos tenían los países en cuanto á riquezas minerales), por estas señales superficiales venimos en descubrir otros minerales de que antes no se hacía caso, ya fuese por no conocer sus aplicaciones ya por no saberlos tratar ó por no saberlos reconocer.

También son señales de gran convicción el hallazgo de piedras ó fragmentos de minerales, sólo que en este caso no podremos asegurar el sitio en que está enclavado el yacimiento, por cuanto no sabemos si aquella piedra procede de lejano lugar ó de uno próximo de aquel en que ha sido encontrada. No nos quedará, pues, otro recurso que el de las conjeturas, y éstas las fundaremos en las condiciones topográficas de la comarca. Si el país es llano y no está surcado por ríos ó corrientes de agua de menor importancia, ó no se pueden en un momento dado, á consecuencia de alguna inundación ó lluvia tempestuosa, formar en él torrentes más ó menos impetuosos, es innegable que con toda probabilidad el canto por nosotros encontrado fué arrancado del mismo sitio en que yacía ó de lugar muy próximo á él. Pero si el terreno es montañoso, ó quebrado, surcado, por consiguiente, por torrentes numerosos, ó si, siendo llano, se ha encontrado el canto en el lecho de algún río, será entonces más difícil deducir su procedencia. Consideraremos entonces, como primera y principal base de deducción, que todos los graves, que todos los cuerpos pesados tienden hacia los puntos más bajos, deslizándose por las líneas de máxima pendiente;

por lo tanto, los cantos que encontremos en los lechos de los ríos ó torrentes ó en las laderas de las montañas, procederán de regiones del río ó torrente más cercanas al origen de la corriente ó de las partes superiores de las montañas. Tenemos, por lo tanto, una regla de conducta que seguir, y es, emprender como primera providencia, la visita é inspección detenida de los puntos elevados y próximos al lugar del descubrimiento, y de una manera preferente los sitios más próximos á las crestas, como más expuestos que los demás á la acción de los destructores agentes atmosféricos; observando con cuidado toda la superficie por si se encuentran nuevos fragmentos por ella diseminados, y los crestones que estén á la vista por si estuviesen constituídos por la ganga que acompañe al mineral encontrado. Si estos trabajos no dieren resultado por más minuciosamente que los realicemos, dirigiremos nuestras investigaciones por un trozo del lecho del río aguas arriba, é inmediatamente por las laderas y alturas próximas, y así sucesivamente hasta encontrar el afloramiento ó nuevas señales que deberemos tomar, sin ningún género de duda, como más próximas al yacimiento.

Hay que hacer notar, no obstante, que la inspección del fragmento encontrado ya nos dará á conocer si procede de cercano ó alejado lugar, pues el roce y choques que haya sufrido con el suelo y las demás piedras habrán desgastado sus aristas, redondeándolas más ó menos según el tiempo que estas acciones mecánicas hayan durado, ó sea según el trayecto más ó menos largo que haya tenido que

recorrer para llegar al punto en que haya sido hallado.

En otras ocasiones, los nombres que llevan ciertas comarcas, ó el que han recibido determinados lugares de ellas, pueden dar base para suponer que en ellas, en tiempos muy anteriores á nosotros, se beneficiaban ó trataban minerales de nombre afín al de la comarca. Así, el *Río Tinto* lleva tal nombre por el subido color que le da el sulfato de cobre que lleva en disolución y que toma de los minerales cupríferos que hay en su cuenca; en Cerdeña hay dos lugares denominados *Argentiera,* en que se extrae galena argentífera; en Argelia hay otro denominado Motka-el-Hadid (trinchera de hierro), y así mismo podríamos citar otras localidades de nombres parecidos, tales como Laurière, La Ferrière, La Minière, la Calaminière, etc. Á veces estas denominaciones ya no son de uso y se encuentran sólo en manuscritos antiguos, donde se hallan también, en ocasiones, detalles más precisos que nos lleven á emprender, con más esperanzas de éxito y con mayores seguridades en la importancia del yacimiento, la investigación comenzada sobre el terreno, en especial si la configuración geológica del suelo coincide con las condiciones requeridas por los minerales á que se referían dichos documentos arqueológicos.

Tampoco desdeñaremos las noticias que nos suministren los naturales del país, pues en ocasiones pueden darnos motivo para sospechar la exis-

tencia de riquezas minerales, no sólo aflorando la superficie sino también de yacimientos más ó menos profundos, por cuanto por sus ocupaciones pueden haber recorrido una y mil veces la localidad, fijándose en detalles que en una sola inspección pueden pasar desapercibidos á aquel que en poco tiempo quiere apreciarlos todos, y además, porque pueden haber tenido ocasión de visitar el subsuelo en razón de haber asistido á la apertura de trincheras ó desmontes, á la perforación de pozos ó galerías, etc. Estas indicaciones serán tanto más de apreciar cuanto que nosotros no podríamos adquirirlas sin que se prolongase sobremanera la prospección y nos ocasionase gastos, que en la mayoría de las veces deberíamos calificar de inútiles por sus escasos ó nulos resultados.

También nos fijaremos en la vegetación más ó menos lozana y en las especies que allí viven, porque además de darnos idea aproximada, sin necesidad de ensayo, de la naturaleza de un terreno y quizás, por tanto, de una manera indirecta, de la edad de dicho terreno, según sean los vegetales que allí se desarrollan, pueden también darnos indicios, á veces muy de apreciar, sobre la presencia de algunos minerales. Respecto á ello puédense citar la *viola calaminaria,* que en bastantes ocasiones acompaña á la calamina ó carbonato de cinc; la *amorpha canescens,* que á veces señala la presencia de yacimientos de minerales plomíferos; la *polycarpea spirostylis,* que crece á menudo cerca de los minerales de cobre; la *convolvulus althæoides,* que

en las pizarras silúricas ó en las dolomías devónicas suele indicar la proximidad de criaderos de fosforita; y, de una manera más general, nos informarán de la naturaleza del suelo, la abundancia ó carestía de aquellos vegetales que sabemos viven preferentemente en suelos de determinada composición química.

El aspecto general del suelo mismo delata ya bastante al explorador experto la edad y clase del terreno; no es posible confundir las formaciones modernas con las antiguas, pues éstas afloran en forma de masas de gran potencia, constituyendo rocas compactas y duras, y las pizarras especialmente son de inmediato reconocer por su forma laminar más ó menos marcada y más ó menos lustrosa y por la presencia casi constante de la mica; mientras que aquéllas, las modernas, son de aspecto variadísimo de poca potencia, no tan trastornadas como las antiguas ya que conservan bastante su disposición primitiva y con abundancia de calizas, y á veces con algunos bancos de pizarras, que no son tan duras como las antiguas, de pequeña potencia. En cambio, los terrenos de edad intermedia presentan á menudo matices rojos debidos á los gres del período triásico, matices grises ó azulados comunicados por las calizas jurásicas, y matices verdosos y blancos ocasionados por los gres y cretas del cretáceo.

Se comprende, por lo tanto, que las comarcas cuyo suelo sea de formación antigua presenten el aspecto muy escarpado, que las modernas vengan

dibujadas en pendientes suaves y tierras movedizas, á veces con tendencia á pantanoso si hay gran cantidad de arcilla, y que los gres de las épocas intermedias vengan caracterizados por sus formas redondeadas, desgastadas, por la no mucha resistencia que oponen á los agentes atmosféricos.

Descubrimiento de minas antiguas abandonadas

Las minas en explotación no se abandonan nunca por haber extraído todo el mineral que contienen, sino que lo han debido ser por alguna causa imprevista, tales como una irrupción inagotable de agua, un hundimiento casi total ó interesando gran porción de ella, la presencia súbita del enemigo en casos de guerra, y también por no ser ya remuneradora la riqueza ó potencia del mineral durante un tiempo que se prolonga más de lo que conviene á los intereses de los beneficiantes.

No consideraremos, pues, como desprovistos de valor, los descubrimientos que hagamos de minas que fueron explotadas en tiempos muy anteriores á los nuestros; porque los que en siglos pasados fueron considerados como obstáculos insuperables, los adelantos de la construcción moderna por un lado y los más refinados procedimientos metalúrgicos actuales por otro, nos ponen en condiciones de salvarlos con relativa facilidad. Y, efectivamente, la contención de aguas y el desagüe nos permiten dominar el más terrible enemigo de los antiguos, y las económicas comunicaciones, fácil arranque, y procedimientos químicos actuales nos dan medios

de beneficiar minerales cuya riqueza no compensaba antes los gastos de explotación.

Las minas antiguas pueden venir citadas en documentos y crónicas antiguos, y por ellos podemos tener conocimiento de su existencia, ó bien pueden ser encontradas casualmente por algún signo exterior, como son montones de estéril, maquinaria abandonada, ó construcciones y excavaciones más ó menos arruinadas. Tanto en uno como en otro caso, consideraremos como primordial trabajo por realizar, la indagación de los motivos que causaron el abandono de la mina; y si no pudiéramos dar con ellos, emprenderemos muy prudencialmente los trabajos de reconocimiento que en el capítulo siguiente se detallan, y tomando las precauciones que mencionamos al describir los servicios de alumbrado y ventilación.

Prospección magnética

Por fin, también será conveniente tener en cuenta la acción magnética que algunos minerales ejercen sobre la aguja imantada. No es de invención moderna este método de exploración, pues ya de antiguo es conocida la perturbación que en presencia más ó menos próxima de grandes masas de minerales magnéticos sufre la brújula; citándose actualmente varios métodos para la aplicación de esta propiedad atractiva. Estos procedimientos magnéticos se aplican, principalmente, á la investigación de criaderos de minerales magnéticos de hierro (óxido de hierro magnético) y á la de las piritas niquelíferas.

En el método de Thalen se opera con el aparato denominado magnetómetro, que se compone de una brújula de declinación provista de un imán vertical que anule la atracción vertical del criadero y sólo nos quede en acción la resultante horizontal de la atracción del criadero y del magnetismo terrestre; y para proceder á la investigación se cuadricula el terreno de manera que nos queden señalados una serie de puntos, distantes entre sí unos 30 metros como máximo, en cada uno de los cuales se procede á una observación. Para ello se quita el imán, se hace girar la brújula hasta que la punta *N* de la aguja quede en el punto *N* del limbo; se coloca ahora el imán en su sitio y se mide la desviación que ha sufrido la aguja por su presencia. Hechas estas observaciones en cada uno de los puntos señalados, se unen entre sí por medio de líneas *isodinámicas* los puntos en que se haya obtenido igual desviación, obteniendo así dos grupos, tales como indica la fig. 23, alrededor de los puntos *M* y *m* de máxima y mínima desviación. Entre una y otra agrupación es obvio que ha de haber una curva abierta *A B* de puntos de desviación cero, ó sea de declinación natural.

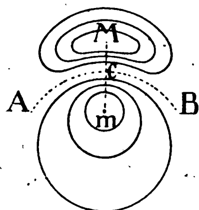


Fig. 23

Según Thalen, el máximo de riqueza del criadero está en la intersección *C* de esta *línea neutra* con la línea que une los puntos *M* y *N*.

Si la profundidad á que se encuentra el criadero es relativamente grande, en la vertical del punto *C* es

en donde se aproxima más á la superficie, y á medida que esta profundidad disminuye, el punto de mayor riqueza se aproxima del polo austral.

Manera de organizar una expedición exploradora

No terminaremos los interesantes detalles concernientes á una prospección minera sin comunicar algunos otros, tanto en lo referente á instrumentos como á pertrechamiento en general, utilísimos para aquellos que han de emprender el estudio de una comarca; y son tanto más de tener en cuenta estas indicaciones, en el caso en que la expedición deba efectuarse á un país relativamente alejado de los centros de población, pues la falta de precaución en detalles que á primera vista puedan parecernos insignificantes, tienen á veces, por las circunstancias particulares en que los expedicionarios se encuentren, una importancia decisiva sobre los resultados económicos ó técnicos de la prospección.

No es corto el inventario que se requiere; y aunque, evidentemente, ha de variar según las condiciones de las localidades que hayan de atravesarse y de las que deban ser exploradas, ha de sujetarse á una norma que es evidente, que no necesita justificarse, pues á nadie se le ocurrirá negar que *todo lo que sea superfluo es inconveniente, y que la falta del más nimio objeto puede dar lugar á dificultades* tales, que sólo se vencen á veces á fuerza de ingenio con los recursos siempre limitados de una expedición alejada de lugares poblados.

Sentado, pues, que no deben los expediciona-

rios llevar demasiado ni demasiado poco, sino lo que se considere como necesario y suficiente, se encontrarán así en condiciones de poderse trasladar con relativa facilidad y rapidez de unos á otros puntos, y con un presupuesto de gastos reducido al mínimo por la natural disminución de los gastos de transporte y de mínimo personal que remunerar.

Por otra parte, los casos de indisciplina ó insubordinación serán, de esta manera, casi siempre menos probables por no existir las causas de excesiva molestia ó trabajo que representa una impedimenta voluminosa, y porque, habiendo menos personal, hay también más facilidades para la vigilancia, y, por lo tanto, puede sofocarse con poco esfuerzo todo descontento.

Si la exploración no ha de ser llevada á lugares lejanos ni muy desprovistos de población, y, por lo tanto, no presenta los caracteres de una expedición numerosa é importante, no por esto son menos de tener en cuenta todos los detalles referentes á la organización; téngase siempre presente que, aunque algo pobladas, las comarcas que se atraviesan no podrán suministrarnos los que podríamos llamar aparatos técnicos, sino sólo los utensilios de más común uso en la vida ordinaria; y, en ocasiones, no sólo no podremos contar con ellos para lo referente á alimentación, sino que ni siquiera debemos confiar en encontrar siempre viviendas en que poder alojar, por tiempo más ó menos largo, los individuos expedicionarios. Por lo tanto, el ingeniero prospector reunirá todos los datos que pueda para decidir si ha de fiar en los recursos que el país

le dé de sí, ó de si será más conveniente llevar consigo, aun á riesgo de recargarse de impedimenta, los objetos necesarios para el alojamiento, la alimentación y el abrigo.

Según sea el país, así serán los medios de transporte. Varían éstos radicalmente, según se trate de país llano ó montañoso; según sea despejado ó cubierto de exuberante vegetación; según sea rico ó árido; que esté en más ó menos considerables extensiones cubierto por aguas corrientes ó estancadas, ó que tenga propensión á ser inundado por el desbordamiento de los ríos que lo atraviesan, ó por las aguas que las lluvias torrenciales pueden acumular en él en un momento dado; según que el clima sea cálido, templado ó glacial, etc. El transporte en vehículos de cuatro y de dos ruedas, el transporte á lomo ó el transporte por los mismos expedicionarios ó por gentes expresamente alquiladas para desempeñar este servicio, se utilizarán según los casos. El país llano y despejado, sin muchas corrientes de agua que atravesar, es el caso más ventajoso, y en él podremos escoger á nuestra conveniencia el medio de transporte si los recursos de la población indígena no nos impiden utilizar determinado sistema. Y aunque sólo incidentalmente, indicaremos la tendencia que se nota hoy en efectuar el transporte, en países de buenas condiciones topográficas que tengan abiertos caminos carreteros regularmente cuidados, con camiones automóviles que, junto á la ventaja de poder cargar pesos de importancia, presentan la no menor facilidad, la

no menor conveniencia de ser mucho más rápidos en sus movimientos que los vehículos arrastrados con fuerza animal.

Si, por el contrario, el país es montañoso y muy quebrado, no queda otro recurso que efectuar los transportes á lomo ó por hombres; y sobre este particular haremos algunas observaciones respecto á la carga máxima y el tiempo también máximo durante el cual puede ser llevada sin agotar sus fuerzas, pues los hombres tienen resistencias muy variables según sus procedencias y según su edad. Mientras los naturales de la India pueden llevar unos 40 ó 45 kilogramos durante trayectos de 80 á 100 kilómetros, la mitad de los cuales salvan á veces corriendo, los negros sólo llevan unos 35 kilogramos, y á los europeos sólo se les pueden confiar de 30 á 35 kilogramos. Además, es natural que los individuos excesivamente jóvenes no podrán tomar tanta carga como los que tengan una edad comprendida entre los treinta y treinta y cinco años; y en todo caso será indispensable conceder descansos de varios minutos cada 4 ó 5 kilómetros de marcha.

Por lo que respecta á las bestias de carga nada, en resumen, puede decirse, pues son muy variables según sean ellas y sería necesario gran espacio para detallarlo, pues se emplean, según los países de que se trate, bueyes, caballos, mulos y asnos, y, aunque sea indicación superflua para nuestro país, también se utilizan en ciertos países los camellos, elefantes, perros, etc. Diremos, no obstante, que las tres últimas clases se emplean

en las latitudes extremas, es decir, los camellos en las regiones tropicales en que suele faltar el agua, los elefantes en países tropicales en que los haya, y los perros en las regiones glaciales ó muy frías, para el arrastre de trineos sobre la nieve ó el hielo; y que también se les ha de conceder un reposo prolongado cada varios días; por ejemplo, hacer un paro de un día entero para que se repongan de su cansancio.

Otro detalle en que el prospector ha de poner toda su atención es lo referente á los artículos alimenticios.

Comprenden éstos los productos destinados á la sustentación de las personas y de las bestias. Y se ve ya desde el primer momento que una de las ventajas del transporte de los efectos por medio de los mismos individuos de la expedición, es la supresión de la parte de forrajes y grano destinados á la manutención de las bestias de carga, además de que, de esta manera, puede tenerse un personal más numeroso por cuanto los gastos que ocasione quedan de sobra compensados por la economía efectuada en los animales de carga.

La alimentación ha de ser sana y relativamente abundante. Además, ha de ser variada y fresca en lo posible. Efectivamente, de la alimentación puede proceder un decaimiento de la salud de alguno ó varios de los individuos expedicionarios, lo cual puede acarrear la pérdida de un tiempo precioso ya para sanarles en el mismo campo expedicionario, ya para remitirles á alguno de los centros pobla-

dos cuando ello es posible. Y ha de ser variada en lo posible y de preparación reciente, pues la monotonía en la alimentación, y muy especialmente en el caso de que la alimentación consista en conservas, puede dar lugar á una inapetencia que á veces es precursora de un estado febril que ha de evitarse á toda costa. Afortunadamente, la actual industria de las conservas alimenticias nos brinda con una variada y apetitosa colección de manjares preparados ó de manjares á que sólo les falta una última calefacción; no obstante, el jefe de la expedición, sin que deje de aprovisionarse á la partida de un excedente prudencial de conservería, no ha de desperdiciar ninguna ocasión que se le presente en el recorrido para proporcionar á sus subordinados alimentación fresca, como es carne, legumbres tiernas, frutas, pan, etc., que le suministren los poblados ó la caza y el campo; debiendo procurar que haya una justa proporción entre las cantidades de carne y las de legumbres ó vegetales, para precaver los efectos perniciosos del abuso de la alimentación carnívora. Por otra parte, no será de más que se provea de bebidas estimulantes, tales como el café, el té, los licores, etc., pero en su uso ha de tomar grandes precauciones para no caer en el abuso, ni siquiera en el uso repetido; el alcohol, las bebidas espirituosas que tan desastrosos efectos producen en el organismo humano, son, en cambio, estimulantes preciosísimos ingeridos en pequeñas dosis.

Una palabra final en lo referente á alimentación: el azúcar es un alimento muy de recomendar

y grandemente estimulante cuando se toma después de una fatiga intensa.

El alojamiento es, á veces, bastante difícil, pues en lugares poco poblados no suele haber medios para poner en buenas condiciones de descanso á una expedición regularmente numerosa. Las noticias que se tengan de las comarcas que deben atravesarse, y especialmente de la que ha de explorarse, son de gran encarecimiento para resolver bien este problema. Es condición importantísima para obtener un trabajo exacto y abundante que los operadores repongan suficientemente sus fatigas diurnas con un descanso nocturno reparador, y es innegable que, para que así sea, las condiciones del alojamiento han de reunir las de confortabilidad y comodidad necesarias.

Si no se dispusiese de sitio propio para el alojamiento, no queda otro recurso que llevarlo consigo ya en forma de casas de madera ó de hierro desmontables, ya en la de tiendas de campaña, con las camas necesarias, con lo cual inevitablemente ha de quedar muy aumentada la impedimenta de la expedición, pero que no ha de doler al jefe de ella, pues en exceso quedará compensado él y el personal á sus órdenes por las ventajas que ha de reportarles.

Por su parte, el vestido ha de reunir condiciones especiales para cada país, debiéndose partir del principio que, para ropa interior, es muy de recomendar la de lana, gruesa ó delgada, según se trate

de países fríos ó calurosos, excluyéndose casi en absoluto la de algodón por la carencia de condiciones higiénicas inherentes á los tejidos de dicha materia; y que, como ropa exterior, ha de tomarse la precaución de disponer de vestidos impermeables para los países propensos á nieblas ó á lluvias, ó para los muy húmedos, para no calarnos con el vapor acuoso de que constantemente está provista su atmósfera. Como vestido impermeable y de gran abrigo en los países glaciales es muy de recomendar el cuero, de manera que el individuo cubierto de cuerpo con un traje de cuero, ó por lo menos de hule, y con botas altas también de cuero, se encuentra en buenas condiciones para resistir muy bajas temperaturas.

Las botas altas de cuero, tales como usualmente se expenden, es decir, con perneras unidas á la bota, no son muy recomendables, puesto que si después de puestas se mojan cuesta mucho descalzarlas, lo cual, en momentos dados, puede ser un inconveniente tan grande que se corte por lo sano, es decir, que se proceda á cortar la bota entera con unas tijeras ó cuchillo; por ejemplo, en el caso que se deba auxiliar rápidamente una fuerte herida en el pie ó pierna. Es más práctico, por lo tanto, el calzado en que la pernera constituye una pieza distinta de la bota propiamente dicha, lo cual, por otra parte, es mucho más económico, porque destruyéndose más rápidamente esta última que la pernera, puede un par de perneras servir para varios pares de botas.

La necesidad de botas altas en toda expedición

por países más ó menos vírgenes, ó por países que aunque frecuentados estén cubiertos por matorrales, se impone desde el momento que no hay otra manera de resguardar las piernas de la molesta acción de los zarzales ó plantas espinosas, ó de las víboras ó animales venenosos de pequeñas dimensiones, y además, por el menor cansancio que sufre la pierna, pues se halla sostenida en toda su longitud. Respecto á esto, para evitar la molestia que no obstante representa las primeras veces que se calza bota alta, es buena precaución, para substituir las perneras, la costumbre tirolesa de enrollar varios metros de una venda de tela ó lana de pocos centímetros de anchura á todo lo largo de la pierna, desde la rodilla al tobillo, pues así se tiene la pierna no sólo mejor sostenida todavía que con la pernera de cuero, sino que queda también preservada de las plantas espinosas, de las mordeduras de ciertos animales y de las inclemencias del tiempo.

Otra particularidad de no escasa importancia ha de ofrecer el calzado, y es la de alguna disposición que evite los resbalamientos á que el cuero tanto expone al explorador; con este fin, es muy conveniente armar las suelas y tacones de gruesos clavos que muerdan bien en el suelo y eviten las caídas. Y creemos todavía de mejor uso que las botas de suelas de cuero armado, la utilización de las botas con suela de alpargata, que sobre el cuero presentan la inmensa ventaja de la flexibilidad que permite su mejor adaptación á las desigualdades del suelo.

La cabeza debe ir también convenientemente

preservada de las inclemencias atmosféricas y de la acción de los rayos solares. Las prendas que están destinadas á este objeto han de reunir tres condiciones: ser suficientemente tupidas para no dejarse atravesar por las lluvias, luz solar, ó temperaturas altas ó bajas; ser lo bastante ligeras, de poco peso, para que no molesten ni fatiguen la cabeza, y, por último, ser de dimensiones tales que al propio tiempo que cubren la cabeza, protejan el rostro y partes próximas á ella, como el cuello y el pescuezo, en que también serían de sentir los perniciosos efectos de los elementos citados. Y como son de sobra conocidos los cascos ingleses y los sombreros de paja ó fieltro de anchas y flexibles alas, no nos detendremos en ello y pasaremos adelante en los demás detalles que el jefe de la expedición ha de tomar bajo su especial cuidado.

Vistas ya las condiciones de transporte, casa, mesa y vestido, vamos ahora á ver qué instrumentos serán necesarios ó indispensables y cuáles convenientes.

No hay duda que corresponde el primer lugar á la brújula, ¿cómo se orientaría el jefe en el camino, y cómo, ya llegado al lugar objeto de la expedición, detallaría las condiciones de dirección del yacimiento, ni cómo los demás trabajos topográficos que, según las circunstancias, sean requeridos? La brújula y el barómetro son los dos principales instrumentos topográficos, si bien por poco importante que se presuma ha de ser la excursión, es muy de recomendar llevar consigo un buen

taquímetro, para poder tener seguridad absoluta en las cifras halladas; y será todavía mejor, si se tiene que levantar el plano de regiones algo importantes, proveerse de algún aparato fototopográfico, por la rapidez con que mediante ellos se pueden tener reproducidas las condiciones topográficas de una comarca. Es por demás decir, que puede prestar utilísimos servicios un aparato fotográfico ordinario, de dimensiones 9 × 18 ó menores, en la reproducción de detalles topográficos ó de acondicionamiento del criadero ó de las capas que á él estén próximas, para confirmar los datos demostrativos que se mencionen en la *Memoria descriptiva* al discutir la facilidad ó dificultad que la explotación minera industrialmente considerada puede ofrecer.

Tampoco deberíase mentar la conveniencia de unos pocos utensilios de laboratorio y los consiguientes reactivos para el ensayo rápido de las muestras que durante la explotación se recojan, pues pueden estos ensayos ilustrar bastante en si conviene ó no continuar la exploración de determinados lugares, según sean los resultados obtenidos. Neceseres hay de esta clase que, ya con objeto de cubrir esta necesidad y otras análogas, contienen en un reducidísimo volumen cuánto estos ensayos requieren, inclusive balanzas de alta precisión en que pueden apreciarse hasta fracciones de miligramo.

Por último, es de absoluta necesidad un botiquín provisto de las más indispensables drogas, instrumentos y accesorios para curar rápidamente, de primera intención, cualquier accidente desgra-

ciado ó cualquier afección que por condiciones individuales especiales, ó por las condiciones climatológicas ó higiénicas de las comarcas recorridas, pudiesen adquirir los expedicionarios, tales como fiebres, resfriados, desarreglos intestinales, afecciones de la vista, picaduras de insectos ó víboras, dislocaciones, fracturas, magullamientos, y una serie completa de los principales contravenenos.

CAPÍTULO III

I

LABORES PARA APRECIAR LA IMPORTANCIA DE UN YACIMIENTO

Conocido el lugar de un afloramiento ó aquel en que se supone la existencia de un determinado yacimiento, es necesario proceder á la apreciación de la importancia del descubrimiento hecho; y para ello no hay más recurso que desmontar parte del terreno para poner al descubierto la masa mineral, con el objeto de observar las condiciones en que se presenta, la cantidad de masa filoniana y la riqueza de esta masa filoniana en mineral propiamente dicho. Lo primero nos lo darán á conocer los trabajos de reconocimiento y apreciación que en este capítulo se van á describir; lo último sólo puede saberse mediante los ensayos químicos pertinentes á cada caso. (Véanse los apéndices.)

Los trabajos propios para la apreciación antes dicha serán necesariamente distintos, según sea la clase de criadero, esto es, según se trate de un banco ó de un filón, y también según aflore ó no.

Estudio de un afloramiento

En el caso en que el yacimiento aflore, tendremos ya indicios suficientes para emprender trabajos de reconocimiento de verdadera importancia. Ante todo, ha de desbrozarse el terreno en el sentido de la dirección del filón para cerciorarnos de que realmente se prolonga hasta la distancia que hemos creído ver, sin discontinuidad ni accidentes que pudiesen acarrear la necesidad de aplicar métodos de beneficios excesivamente caros para que estuviese en condiciones de soportarlos la especie mineralógica en cuestión.

Tendremos, por lo tanto, muy en cuenta que, si el criadero es un banco, los cambios de dirección pueden predecirnos disminución de riqueza, y que las inclinaciones grandes también pueden ser causa de pobreza. Al propio tiempo deberemos observar si la riqueza en el nivel hidrostático corresponde con la del interior, y hasta si en éste se encuentra el mismo mineral ú otro distinto del que aquél nos ofrecía.

Si en vez de tratarse de un banco se tratara de un filón, observaremos también si hay manifiestas señales de proceder el filón del relleno de una falla con descenso de uno de los hastiales, porque suelen ofrecernos enriquecimiento al pasar de unos á otros terrenos; y, sobre todo, observaremos las condiciones de resistencia del terreno correspondiente al techo del filón, porque si estuviese muy dislocado quizás nos obligaría á abandonar nuestros propósitos por los crecidos gastos que en la explotación se nos acarrearían, ya para sostenerlo, ya por la

probable abundancia de aguas superficiales ó subterráneas que seguramente inundarían las labores.

La manera de proceder á este reconocimiento de la afloración es abriendo trincheras ó *calicatas*, según la dirección del filón, de unos 2 metros de profundidad y de o'70 metros de ancho en el fondo, con el talud conveniente para el sostenimiento natural de las paredes de la trinchera; pero si con esta profundidad no se obtuviesen datos suficientes, podrían profundizarse más tomando la precaución de dar al talud los perfiles que la construcción moderna recomienda, y de organizar el trabajo por bancos sucesivos ó sea en forma de escalones, los cuales, á la par que permiten una mayor rapidez y economía en el trabajo, son mayor garantía para la seguridad personal de los obreros.

En ocasiones, estas trincheras se construyen transversales y sólo de distancia en distancia sobre la alineación del afloramiento, lo cual, como es de suponer, es una práctica viciosa por cuanto pueden pasar desapercibidas accidentaciones que pudiera ser necesario conocer.

Estudio de las partes profundas

Si las trincheras profundas se considerasen todavía insuficientes y si el terreno no es llano, sino más ó menos accidentado, pueden perforarse galerías de reconocimiento que, penetrando por un punto convenientemente escogido en alguna ladera, siguiesen al criadero en una extensión más ó menos larga; pero como que en estas galerías la ventilación podría llegar á ser

defectuosa, causando, por lo tanto, no sólo un trabajo poco higiénico y menos económico, sino también el amortiguamiento de la llama de las lámparas con que los mineros se alumbran durante su estancia en las excavaciones subterráneas, es práctica usual hacerlas comunicar de distancia en distancia con la superficie por medio de pozos de ventilación de escaso diámetro, con lo cual se establece una circulación natural de aire que renueva la atmósfera interior; si bien, en los casos en que esta ventilación natural no puede establecerse, que suelen ser aquellos en que se trata de bancos poco inclinados, ha de recurrirse necesariamente á medios artificiales de ventilación, ya sea con el auxilio de ventiladores impelentes, ya construyendo exteriormente y sobre los pozos de ventilación, chimeneas de tiro.

Los pozos de ventilación á que nos hemos referido pueden construirse de eje vertical, ó bien, si se trata de un criadero bastante próximo de la verticalidad y se desea además que los gastos de su perforación queden más ó menos compensados por la cantidad de materia útil que se arranque, se abren siguiendo la inclinación del filón, según su línea de máxima pendiente. Por otra parte, estos pozos inclinados tienen la ventaja de ilustrarnos más en lo referente á la masa filoniana, porque pasan por el seno de la que existe en las partes superiores de la galería.

Por fin, en otras ocasiones no se construyen galerías, sino que se perforan directamente pozos según la línea de máxima pendiente del criadero, si bien en este caso precisará disponer de mecanis-

mos para la extracción de los escombros y de las aguas filtradas ó subterráneas que se vayan alumbrando, pues no bastarán los simples esfuerzos del personal afecto á los trabajos.

Es práctica más corriente, aunque más cara, reconocer los criaderos muy inclinados y situados en comarcas montañosas, con lo cual ya se sobrentiende que se aplicará casi siempre que se trate de filones, por medio de galerías traviesas *A* (fig. 24), abiertas desde las laderas de las montañas. Estas galerías traviesas no son otra cosa que galerías que, partiendo de puntos relativamente bajos de la superficie, van á cortar casi normalmente al filón por su piso, en un punto que se procura sea lo más profundo posible dentro de la economía con que suelen efectuarse estos trabajos de apreciación. Tenemos así la ventaja, muy apreciable, de visitar el criadero en un punto á que no alcanza el nivel hidrostático de la región, y, por lo tanto, en sitio tal, que la muestra que en él tomemos nos dirá la naturaleza verdadera de la masa filoniana; pero como que en este punto lo mismo puede haber un ennoblecimiento que una borrasca, una potencia máxima ó una potencia mínima, se abren á partir de él, á derecha é izquierda galerías de reconocimiento según la dirección del filón.

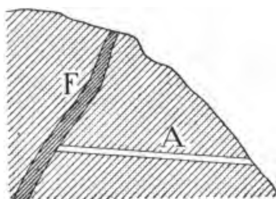


Fig. 24

Tienen, además, otra ventaja no menos de apre-

ciar, que consiste en la estabilidad que ofrecen estas galerías traviesas como abiertas en un terreno firme cual suele ser el que está situado en la región del piso del filón; conseguiremos, en consecuencia, una economía en lo que al sostenimiento se

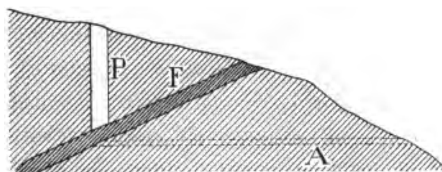


Fig. 25

refiere, durante la perforación, y en la conservación de este sostenimiento durante la utilización de tal galería.

No dejaremos de observar que las galerías de toda clase, salvo casos especiales, se perforan en ligera cuesta para que las aguas que en mayor ó menor abundancia suelen alumbrarse, se escurran naturalmente hacia el exterior.

Por el contrario, si el criadero *F* es poco inclinado (fig. 25), las galerías traviesas *A* han de ser forzosamente poco económicas por la excesiva longitud que han de medir, si bien ha de advertirse que con el auxilio de los poderosos medios modernos de perforación, las longitudes que antes se consideraban como exageradas, hoy van siéndolo cada vez menos; tanto es así, que pueden hoy citarse galerías de extraordinaria longitud. De todas maneras, debe considerarse el pozo como la vía de reco-

nocimiento peculiar de los criaderos de poca pendiente.

El pozo, si bien es la más cara de las excavaciones subterráneas, es también, salvo casos excepcionales en que se presenten circunstancias que lo impidan, la que más rápidamente nos lleva á mayor profundidad. Ha de tener casi siempre las paredes protegidas, tanto para evitar los derrumbamientos que ocasionarían indefectiblemente la muerte de los operarios que trabajan en el fondo, como también para evitar las filtraciones de aguas, aquí más frecuentes porque es mayor el número de capas cortadas, y, por lo tanto, más probable que alguna de ellas sea acuífera.

Tomaremos, pues, las precauciones pertinentes para que al verificar la extracción del agua por medio del torno ó mecanismo con que se efectúa la extracción de los escombros, no pueda en ningún caso perjudicar á ésta, y, por consiguiente, instalaremos, si se cree que este caso ha de llegar, un aparato para el desagüe y otro para la extracción. También se estará prevenido en todo momento, pero principalmente siempre que se esté próximo á atravesar una capa acuífera, para elevar rápidamente los operarios hasta un nivel prudencial en que queden á salvo de una irrupción repentina de agua; como también para protegerlos en los momentos en que se da fuego á los barrenos, si es que éstos han debido emplearse en el trabajo de perforación.

El mecanismo de extracción puede ser un torno movido á brazo por uno ó dos braceros, si el pozo

no ha de alcanzar profundidad mayor de unos 25 metros; pero, en caso contrario, han de emplearse instalaciones en que los operarios no se fatiguen en exceso, ya utilizando caballerías, ya energías mecánicas que variarán, como es de suponer, según los recursos que nos ofrezca el país en que se situó la boca del pozo ó la previsión del organizador de la expedición.

Punto en que han de situarse las bocas de las galerías y pozos

No es indiferente el lugar en que se sitúa la boca de una galería ó pozo.

Las bocas de los anchurones ó galerías han de situarse precisamente en el más bajo nivel posible, y, por lo tanto, muy cerca de los valles ó de los lechos de los ríos ó torrentes, pero han de estar al propio tiempo lo bastante alejadas de estos torrentes, ríos ó valles para que, aun durante las más extraordinarias crecidas de las aguas, puedan éstas inundar los trabajos, ni siquiera dificultar el acceso á dichas galerías.

Igual observación ha de hacerse con relación á las bocas de los pozos; no obstante, como que si el país es llano deben abrirse necesariamente pozos tanto si es ó no es perjudicado por inundaciones, en el caso en que lo sea se tomará la precaución de elevar el terreno alrededor de la boca del pozo, construyendo lo que pudiera llamarse un brocal artificial de altura mayor que el máximo nivel á que puedan alcanzar las aguas, las cuales son aquí tanto más de temer por cuanto anegarían absoluta-

mente todos los trabajos si lograban introducirse en el pozo.

Refiriéndonos ya á otro orden de consideraciones, las bocas de las galerías han de situarse en punto tal que, dado el punto en que se quiere cortar el filón, sea mínima la longitud de la galería. Para ello se levanta el plano topográfico y se marcan en él los afloramientos, reuniéndolos sucesivamente entre sí por medio de una curva. Ahora bien; conocido el punto en que se ha decidido cortar el filón, se conocerá aproximadamente la curva de nivel en que deberá estar situada la boca de la galería, y faltará, pues, sólo determinar geométricamente cuál es el punto de esta curva de nivel más próximo al considerado del filón.

Ya se ha indicado también la conveniencia de que la galería se perfore por la parte del piso y no por la región del techo del filón. Y esta conveniencia pasa á ser casi necesidad si lo que ha de abrirse es un pozo, porque si una vez alcanzado el filón desea continuarse para reconocer las condiciones del filón á mayores profundidades, tendremos una construcción que pasará del techo al piso del filón, de un terreno firme á otro infirme, y, por lo tanto, cualquier movimiento del terreno nos quebrará el eje del pozo en su intersección con el filón y quedará inutilizado para el servicio si el ángulo es pronunciado, y si no lo es mucho podrá, sí, continuar su actividad, pero no sin costar mucho dinero su rectificación.

Tomaremos, pues, también como norma, perfo-

rar los pozos en la región del suelo del filón (fig. 26), y desde el pozo iniciar galerías traviesas *A, A'* que vayan á encontrar al filón en las profundidades *m m'*, que se hayan convenido.

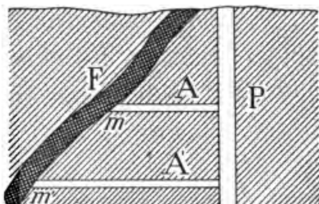


Fig. 26

Sondeos

No hay duda que los trabajos subterráneos referidos hasta aquí resultan caros, y si á ello se añade que muchas veces no nos reportan otra utilidad que la de decidirnos á abandonar el criadero, se comprende que se haya pensado en otros medios de reconocimiento más económicos. Tales son, en general, los trabajos conocidos con el nombre de sondeos.

Se llama *sondeo* la perforación de un pozo mediante un instrumento especial llamado *sonda*, que se maniobra desde la superficie. Los pozos así perforados pueden tener diámetros comprendidos entre unos 8 ó 10 centímetros (y hasta menos) y 2 ó 2 $^1/_2$ metros. De todos modos, los sondeos que se verifican con miras al reconocimiento de un criadero, tienen casi siempre sólo pocos centímetros de diámetro.

Sondeos de mínima profundidad

Las sondas varían según sea la profundidad hasta qué desee llegarse. Si ésta no pasa de unos 2 metros, consisten sencillamente en una barra de hierro de unos 3 centímetros

de diámetro, terminada por un extremo en forma adecuada para facilitar el ataque de las piedras ó terrenos duros, y, por el otro, en una especie de *cuchara*. Este útil se maneja á mano, levantándolo y dejándolo caer sucesivamente de manera que golpee fuertemente el suelo por el extremo terminado en *trépano* (fig. 27), y de cuando en cuando



Fig. 27



Fig. 28



Fig. 29

se invierte para extraer con el extremo correspondiente á la cuchara la tierra y piedrecitas que se arrancan en la primera parte de la operación. Hay que advertir, no obstante, que si el terreno es relativamente blando puede emplearse directamente por el extremo terminado en cuchara, para lo cual no se procede por percusión, cual acabamos de decir, sino que simplemente se hace entrar á estilo de barrena mediante una enérgica presión ejercida por varios hombres, imprimiéndole al propio tiempo un movimiento de rotación.

En ocasiones, en vez de cuchara se utiliza una especie de hélice constituyendo la *sonda de cinta* (fig. 29), porque en los terrenos bastante blandos se introduce fácilmente por rotación, y luego

mediante un movimiento brusco hacia afuera se arranca, quedando aprisionada entre las espiras una porción de tierra.

Sondeos de mediana y gran profundidad

Los sondeos á mano no son muy comunes, pues las calicatas á que antes nos hemos referido informan mejor que los sondeos sobre las condiciones del criadero; los sondeos, salvo los del sistema de desgaste por medio del diamante, son siempre poco seguros en sus *indicaciones*, no nos manifiestan francamente el paso de uno á otro terreno, y ya se verá, por la rápida descripción que de los varios sistemas haremos, el porqué de esta inseguridad. Por lo general sólo se recurre al sondeo cuando se trata de perforaciones no menores de 5 metros.

La sonda, en este caso, consiste en un útil de trabajo cuyo mango se va prolongando por medio de barras especiales á medida que se alcanzan mayores profundidades.

Los útiles de trabajo son de varias clases; unos tienen por objeto atacar el suelo, otros limpiar de los escombros el orificio que se va obteniendo, y otros que se utilizan para salvar los accidentes que muy frecuentemente tienen lugar en estos trabajos.

Sondeo á mano

El sondeo á la mano se emplea sólo para profundidades relativamente pequeñas, y se procede de la manera siguiente:

Tratándose de sondeos menores de 4 ó 5 metros se emplea la sonda de mano antes indicada.

Si se ha de profundizar hasta unos 25 metros como máximo, se emplea ya el ensamble por medio de barras ó el sondeo por cuerda.

El *sondeo chino* ó *por cuerda* consiste en un útil suspendido en el extremo de una cuerda, al cual se le da un movimiento alternativo de sube y baja, de manera que en cada descenso golpee fuertemente el fondo del orificio que se está practicando. Este orificio se ha practicado en sus primeras porciones, por medio de una sonda de mano ó bien por medio del mismo útil de ataque de este sistema, que no viene á ser más que una sonda de mano con sólo un extremo propio para el trabajo, puesto que el otro extremo ha de estar dispuesto para poderlo suspender á la cuerda. Para comunicar á la sonda el movimiento alternativo, se construye sobre la boca del orificio un *castillete* de unos 4 metros de altura y á veces menos, en cuyo vértice hay una polea para obtener un retorno de la cuerda por medio del cual el movimiento de sube y baja queda transformado en otro, respectivamente, de tira y afloja.



Fig. 30

Cuando por medio del trépano, que suele ser de doble cincel (fig. 28), se ha logrado triturar la roca en una cierta profundidad, que es variable según sea la clase de roca, se extrae aquél y se pone en su lugar la campana de válvula (fig. 30) para extraer los detritus producidos, los cuales se encuentran al estado de fangos, ya por el agua que

naturalmente corre por las capas taladradas, ya por la que expresamente se introduce para que no se destemplen ni desgasten tanto los útiles de ataque. También, de cuando en cuando, se suspende de la cuerda el *alisador* (fig. 31), cuya finalidad es igualar el calibre del agujero y conservar su verticalidad.





Fig. 31

La fig. 32 nos representa unas piezas que se empalman de trecho en trecho en la serie de barras para conservar la posición del tirante en el eje del agujero. Como es de suponer, esta pieza ha de tener igual diámetro que el orificio que se está perforando.

Los fangos extraídos se desecan y se conservan ordenados y con las anotaciones necesarias para conocer, en cualquier momento que convenga, la naturaleza de los terrenos atravesados.

Se comprende que este sistema de sondeo, que actualmente se ha puesto otra vez en vigor en Norteamérica para la investigación de los yacimientos petrolíferos, no podrá indicarnos con seguridad la profundidad á que corresponden las muestras ó fangos extraídos, pues á ello se oponen, además de otras circunstancias, los alargamientos sufridos por el cable ó cuerda.

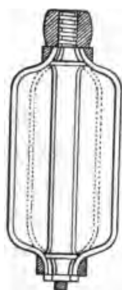


Fig 32

El *sondeo por medio de barras rígidas* es más preciso y puede obrar por rotación ó por percusión. En este sistema las barras suelen ser de hierro y de poco diámetro,

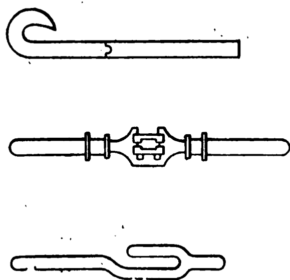
pues para una longitud de 1'25 metros solamente vienen á pesar unos 2 kilogramos. El trépano ó el útil de limpia se fijan en el extremo de la barra inferior; y á la barra superior, que es la que sale á la superficie, se le fija en su extremo libre una palanca de maniobra, ó bien se fija á una cuerda que pasa por una polea montada en un castillete análogo al antes indicado en el sondeo chino. En este último caso se procede por percusión, y para la limpia del agujero es necesario desconectar todo el sistema de barras con objeto de cambiar el útil, á no ser que el castillete sea bastante elevado; en el primero se procede por rotación, y entonces dos ó más braceros le comunican el movimiento giratorio, al propio tiempo que con todas sus fuerzas aprietan hacia abajo para que el útil muerda. Este útil es un trépano de la forma indicada en las figs. 27, 28 ó 29, si la roca es algo dura, ó bien una especie de media caña ó cuchara (fig. 33), si es tierra blanda.


Fig. 33

En ocasiones el castillete no lleva polea, sino que sólo tiene el asiento sobre que ha de girar una palanca ó *balancín* (fig. 37) constituído por una gran viga de madera, en cuyo brazo menor se fija la cabeza de la sonda, y en el otro se aplica la fuerza muscular (ó mecánica) para comunicarle el movimiento. Ha de notarse que á medida que se va profundizando, el peso de la serie de barras empalmadas va aumentando; será, pues, necesario, variar los brazos de palanca para que pueda aplicarse un esfuerzo sensiblemente constante; lo cual se con-

sigue con admirable sencillez corriendo sucesivamente el punto de apoyo de la palanca hacia el extremo que soporta la sonda.

Dos observaciones tenemos que hacer todavía respecto á este sondeo, y son que si en el sondeo por percusión la profundidad ya es algo crecida, es necesario disponer el trépano de manera que golpee el fondo independientemente de la acción de la fuerza viva de que están animadas las barras, pues si funcionasen solidariamente el golpe es menos franco y hay mayor exposición de producirse alguna ruptura; y, además, que á cada golpe el jefe de la operación haga girar una fracción de ángulo para que el trépano no se clave en el fondo y se conserve la verticalidad. Lo primero, se consigue con sólo hacer que la última barra, la *barra maestra*, esté formada de dos piezas que puedan deslizarse una dentro de otra, para que, cuando el trépano golpee el suelo, pueda todavía continuarse el movimiento descendente del *tirante* durante unos momentos; y lo segundo, por medio de un *manubrio* de gobierno, tal como el indicado en las figs. 34 y 35.



Figs. 34, 35 y 36

Sondeo mecánico

Cuando la profundidad es mayor de 25 metros, se hace indispensable mover la sonda aplicando energía mecánica.

No nos detendremos en esta clase de sondeo por cuanto los procedimientos son los mismos que los antes descritos, y se diferencian sólo en los varios útiles que han de ser mucho más perfeccionados por requerirse mayor seguridad, pues los accidentes resultan á veces muy caros y penosos de restablecer. Deberá, pues, cuidarse minuciosamente el ensamble de las distintas piezas, y en especial del varillaje, para que no pueda caer la sonda en el fondo por imperfección de alguna junta, y repasar también cada día si las barras han sufrido algún contratiempo que pueda implicar una disminución de resistencia, que también podría causar su ruptura y la consiguiente caída de la sonda.

Para que el empalme de las varillas resulte seguro se han ideado varias uniones, habiendo prevalecido sobre todas las demás la unión por medio de rosca, en la cual cada varilla está terminada en uno de los extremos por una espiga fileteada, y en el otro extremo lleva un manguito fileteado interiormente en forma de tuerca. Pero presentando este sistema el inconveniente de que puede destornillarse al obrar la sonda por rotación, se aplicó un pasador para que así no sucediera, con lo cual se cayó en un inconveniente peor, puesto que fiándose del pasador se descuidan las roscas, las cuales se desgastan rápidamente por los choques que constantemente recibe la sonda, y, por lo tanto, trabaja sólo el pasador ó clavija, la cual en un movimiento brusco puede romperse, cayendo la sonda al fondo.

También se ha de perfeccionar la acción independiente del trépano con respecto á la columna de

barras; de aquí salieron el *trépano de caída libre,* que es de mecanismo más complicado que el antes descrito y de los cuales hay multitud de sistemas, y los *balancines de compensación,* en los cuales, al final de la carrera, esto es, en cuanto se suelta el trépano y cae éste libremente, el balancín actúa sobre un contrapeso que anula la fuerza viva que animaba al tirante ó serie de barras.

También se colocarán mecanismos paracaídas para amortiguar los efectos del topetazo en el fondo, en los casos en que caiga la sonda; y, por fin, el castillete ha de ser mucho más elevado, para que, al extraer la sonda, el desensamblado pueda hacerse cada dos ó tres barras, y no se haga interminable dicha operación; á algunos castilletes se les da más de 40 metros de elevación (fig. 37), y las barras son también de mayor longitud (5 á 12 metros) de la que antes hemos dicho.

Para disminuir el peso del tirante, y para que resulte menor el coste de compra y de reparaciones del aparato, se han construído las barras de madera, y para poderlas armar y desarmar fácilmente se han fijado en sus extremos unas conteras de hierro terminadas con rosca macho y hembra, que permiten operar con ellas como si fuesen completamente de hierro. Natural es que su escuadría ha de ser mayor que la sección dada á las de hierro, pero no en la proporción indicada por la resistencia respectiva de sus materiales, sino menor, porque el empuje del agua que constantemente llena el agujero de sonda disminuye su peso.

Este sistema presenta la ventaja que las sondas

rotas vuelven muchas veces á la superficie por constituir un conjunto susceptible de flotar en el agua.

La operación de desmontar la sonda ha de efec-

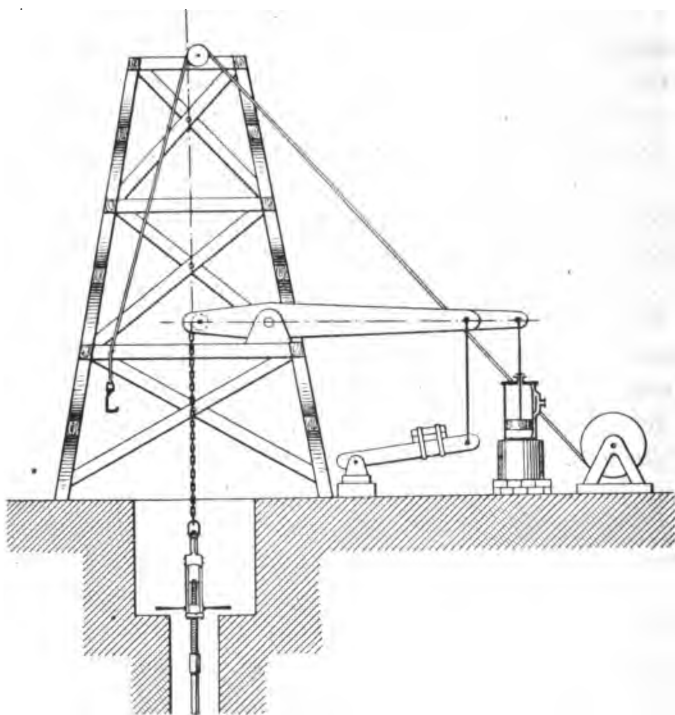


Fig. 37

tuarse con gran frecuencia, puesto que para extraer los detritus arrancados por la sonda ha de extraerse ésta para poder bajar la cuchara ó la campana de válvula. De manera que cada limpia supone dos operaciones de desempalme y dos de empalme; y si se tiene en cuenta que esta maniobra ha de efec-

tuarse á veces, si el terreno es muy duro, á cada pocos centímetros arrancados, puede calcularse la pérdida de tiempo que se sufre.

Para hacer posible esta operación del desempalme ó empalme, sin que exista el temor de que las barras se nos caigan al fondo del orificio practicado, se emplea la llave de la fig. 36 para sostener la serie de barras por debajo del manguito de la que sobresale de la superficie.

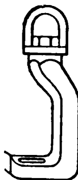
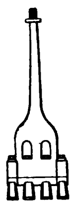

Fig. 38


Fig. 39

Las figs. 38 y 39 nos representan dos ganchos distintos para levantar ó bajar la serie de barras; de este modo, cogiendo las barras por debajo del manguito, se facilita mucho su operación. Van fijados en el extremo del cable de limpia (fig. 37).


Fig. 40

Es de advertir, no obstante, que si se emplea la campana de válvula para la subida de los detritus, se abreviará mucho la operación, ya que puede evitarse un empalme y un desempalme, por ser costumbre bajarla suspendida en el extremo de un cable que pasa por una polea fijada en el castillete de manera que coincida con la vertical del agujero de sonda.

Es natural que para operar con el cable, deberá apartarse el balancín para que la cuerda no roce con él.

Cuando el sondeo ha de ser de diámetro relativamente grande se emplean los *trépanos múltiples* (fig. 40), que consisten en una armazón en que

pueden implantarse un número variable de trépanos sencillos.

Para reducir al mínimo el tiempo en que no puede operar el trépano, por estarse procediendo á la limpieza de detritus, se aplica el sistema de sondeo con circulación de agua.

Para aplicarlo, basta inyectar por el interior de las barras, que en este caso deberán ser huecas, una enérgica corriente de agua ó presión, la cual retornará á la superficie por el hueco anular que queda entre la sonda y las paredes del agujero. Esta corriente arrastrará en forma de limo más ó menos grosero, según la presión con que se inyecta el agua, los detritus que sin ella se hubieran depositado en el fondo, y los subirá hasta la superficie. Se logra así, por lo tanto, tener que subir la sonda sólo en los casos en que la prudencia aconseja cambiar el trépano usado por otro nuevo.

Tiene este método de sondeo el grave inconveniente de que son muy dudosos los datos que da sobre la sucesión de capas del corte geológico en aquel lugar, pues las tierras arrastradas por la corriente pertenecen á distintas secciones del agujero de sonda. Puede, de todas maneras, obtenerse una muestra más aproximada á la verdad, deteniendo la percusión y continuando la inyección de agua hasta que ésta salga limpia; y si ahora se golpea nuevamente para profundizar un poco más y se recoge el limo que ha subido el agua durante esta operación, es indudable que se tendrá una muestra que pertenecerá sólo al terreno desmontado entonces.

Para obtener la muestra, se filtra el agua que sale del orificio de sonda. Sin embargo, esta filtración no se efectúa sólo cuando desea tenerse una muestra, sino que se efectúa constantemente con dos objetos. Es el primero la obtención de las tierras que sucesivamente van subiendo, con lo cual podemos adquirir una idea aproximada de la naturaleza de los terrenos atravesados; y es el segundo, la recuperación del agua para inyectarla de nuevo, pues es grande la cantidad que de ella se necesita. De esta segunda consideración se deduce la natural consecuencia de que la bomba empleada en la inyección del agua tendrá que ser de construcción especial, para que no se deteriore por la acción de las aguas turbias que por ella han de circular.

Finalmente, es propiedad característica de este sistema funcionar con pequeña altura de caída, (unos 2 centímetros), y con un gran número de golpes por minuto (de 100 á 120). Esto obliga á emplear uniones elásticas especiales entre barra y barra, y un asiento elástico para el balancín, para que no quede destruído en poco tiempo todo el aparato.

Sondeo con diamante

Siendo el diamante el más duro de todos los cuerpos conocidos, se aplica felizmente en los sondeos, si bien ha de procederse precisamente por desgaste ó rotación.

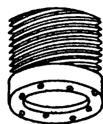
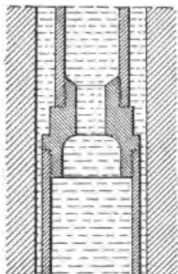


Fig. 41

El útil de ataque (fig. 41) está constituído por un cilindro hueco de regular espesor, en cuya corona inferior van engastados

varios diamantes negros formando uno ó más círculos concéntricos; de manera que á medida que la roca va siendo desgastada, penetra un cilindro macizo de ella por el interior del cilindro hueco, el cual puede desprenderse del fondo con sólo dar un brusco movimiento de giro hacia atrás, después de haber previamente levantado un poco la sonda para que no rocen los diamantes con el fondo. El cilindro muestra queda entonces alojado en una cámara interior que tiene el cilindro útil (fig. 42). Será posible, por lo tanto, tener una muestra exacta del terreno atravesado.



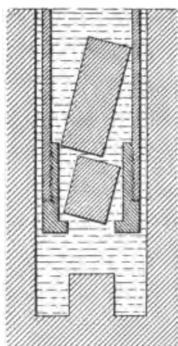


Fig. 42

Las varillas han de ser huecas para que pueda efectuarse la inyección de agua, como hemos indicado hace poco, la cual tiene por objeto mantener siempre limpio el fondo, para que los diamantes rocen constantemente con el fondo durante la rotación del aparato.

El avance del aparato será variable según sea la dureza de la roca que se perfora. Será, por consiguiente, necesario, dotar al aparato de un mecanismo que haga posible y fácil el cambio de la velocidad de avance. Esto se logra por medio de engranajes que actúan sobre un tornillo sin fin colocado en la cabeza de la sonda, ó bien por medio de la presión hidráulica.

En vez de coronas armadas de diamantes se emplean también coronas armadas de púas de acero.

Los métodos con circulación de agua suponen una impermeabilidad completa ó casi completa en toda la superficie interior del agujero de sonda; y, por lo tanto, se deberán tomar precauciones especiales en aquellos casos en que se tropiece con terrenos agrietados ó filtrantes por los cuales pudiera escurrirse el agua antes de llegar á la superficie. Para subsanar este percance se procede al entubado.

El entubado consiste en revestir las paredes del orificio con una serie de tubos metálicos para incomunicar absolutamente el agujero con los terrenos vecinos. Para ello, á medida que va adelantando la sonda va introduciéndose el entubado, lo cual puede lograrse de dos maneras: ya constituyendo un tubo cilíndrico en toda la profundidad del sondeo, ya disminuyendo de diámetro en cada una de las porciones de tubo introducidas. Lo primero se efectúa introduciendo á presión el primer trozo y cuando éste está próximo á desaparecer ya en el suelo, se le empalma otra porción de tubo de igual diámetro, y ahora, para continuar su introducción, se efectúa la presión en el extremo de este segundo tubo y así sucesivamente, de manera que el primer tubo introducido es el que al final va á constituir el trozo más profundo; y para lo segundo, se introduce primero el tubo de diámetro máximo, que quedará ya constantemente como porción superior del entubado, y luego otro de un diámetro ligeramente menor,

para que pudiendo pasar por el interior del primero venga á situarse debajo de él, y así sucesivamente. Este segundo sistema de entubado, entubado telescópico, no es tan impermeable como el cilíndrico, por no lograrse una junta perfecta entre tubo y tubo, pero puede obtenerse una impermeabilidad suficiente mediante precauciones especiales.

Si la profundidad ó longitud de pozo que ha de protegerse con un tubo cilíndrico es muy grande, suele suceder que llega un momento en que éste no quiera introducirse más, exponiéndonos á achafarlo ó romperlo si aumentamos la presión ejercida en su extremo superior.

Entonces ha de disminuirse el diámetro del útil de ataque y revestir con otro tubo de diámetro también menor, que puede pasar por el interior de la primera sección de entubado.

En ocasiones puede suprimirse el entubado, aunque los terrenos sean acuíferos ó propensos á derrumbarse, y esto se ha de lograr á medida que se va profundizando. Así, por ejemplo, si observamos que el trépano ó corona de diamantes ó acero obra sobre un terreno desmoronadizo ó acuífero, introduciremos por el interior de las barras en vez de agua á presión, cemento bastante flúido en cantidad suficiente para llenar con él toda la altura correspondiente á la capa perjudicial, y tomando la precaución de levantar paulatinamente toda la sonda para que al fraguar la masa no quede aprisionada en ella; y en cuanto se ha solidificado, se ataca el cemento como si fuese una cualquier otra roca.

Accidentes que pueden ocurrir durante el sondeo y manera de vencerlos

Se han citado ya algunos y pueden consistir, principalmente, en la ruptura de una barra ó del cable, en el acuñamiento del trépano en el fondo, ó en la caída de objetos desde la superficie al fondo del sondeo. También puede abollarse ó romperse un entubado.

Cuando se rompe un cable y una porción de él cae al fondo, es casi imposible sacarlo entero; por ello es que con un útil en forma de arpón (fig. 43), se procura subirlo á trozos, y cuando se entiende que ya queda poco trozo de él, se tantea con la *caracola* (fig. 44) ó con la *campana de tuerca*, si se puede coger el extremo superior de la barra maestra. Cuando se tantea con la caracola, se baja ésta y se procura hacerla girar para que aprisione la barra por debajo del rehenchimiento que tiene en su extremo, y entonces se tira hacia la superficie. La campana de tuerca sólo puede emplearse bajándola en el extremo de una columna de barras rígidas, con las cuales se procura que el extremo de la barra se introduzca en la campana, y cuando se cree que ya se ha logrado, se da un movimiento lento de rotación, apretando suavemente hacia abajo para que muerda el perfil de la tuerca en el extremo de la barra y quede fuertemente aprisionado por ella. En este momento, con gran cuidado, para que no se desprenda el útil pescado, se va subiendo el todo.



Fig. 43

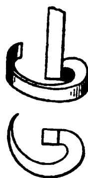
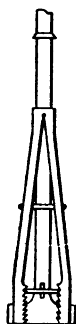


Fig. 44

Cuando se rompe una barra se emplea la caracola, si la ruptura se produjo en un punto algo superior á una unión, lo cual, así como la profundidad á que ha tenido lugar el percance, es fácil saber por el trozo de tirante que ha tenido que subirse á la superficie; y si la ruptura se ha efectuado por un punto algo inferior á la unión, se ha de emplear la campana de tuerca si el sondeo es sin circulación de agua, ó el *tornillo macho* (fig. 47) si las barras son huecas. En todos estos casos citados, se procede como se ha dicho al hablar de las rupturas de cable, y tomando, además, gran precaución en el acto de subir las barras cogidas con la caracola, para que la punta de la barra rota no se hinque en las paredes del sondeo.


Fig. 45


Fig. 46

Finalmente, para coger un objeto caído en el fondo, si es pequeño, se llena el fondo del taladro con una masa de arcilla, para que el objeto quede aprisionado en ella, y luego se arranca esta masa de arcilla con el *tirabuzón* (fig. 45), ó con la cuchara, y si ya es de mayor tamaño se recurre á las *pinzas* de resorte (fig. 46), que se cierran por sí mismas en cuanto abarcan el objeto.


Fig. 47

Cuando se acuña el trépano, no queda más camino que tirar de las barras hacia arriba para que se des-

prenda, si bien así nos exponemos á romper alguna barra, agravando el percance, que ha de vencerse entonces con la caracola ó la campana de tuerca.

Otras veces el trépano queda aprisionado por haber ocurrido algún desprendimiento de tierra de las paredes, y entonces se han de destornillar todas las barras de la sonda, á partir de la superficie, con las pinzas, que se bajan con otro sistema de barras; y en habiendo sacado la primera de las barras que han quedado cogidas por los escombros caídos, se extraen éstos con la cuchara hasta descubrir la barra siguiente, que también se coge con las pinzas, y así sucesivamente.

De estos percances hay algunos que pueden evitarse, si se tiene cuidado en tomar las precauciones que se requieren. Así, por ejemplo, la rotura de las barras puede producirse porque habiéndose hinchado el terreno en alguna capa de naturaleza propia para estos aumentos de volumen, no pueden luego subirse, y, por lo tanto, pasar los nudos de las barras ó la barra maestra ó el trépano; y esto podría evitarse, decimos, repasando de cuando en cuando con el alisador las paredes del taladro para restablecer el diámetro primitivo, ó bien entubando el pozo, no en toda la longitud, sino sólo en la porción que presente tendencia á hincharse. Otro ejemplo es el ya indicado antes del entubado, cuando se encuentran capas poco consistentes, etc.

Cuando se abolla algún tubo, lo más corriente es arrancarlo por medio del *arrancatubos,* y poner otro en el lugar que ocupaba el trozo arrancado.

II

APRECIACIÓN DEL VALOR INDUSTRIAL DE UN YACIMIENTO

Conocidas las condiciones del criadero mediante los trabajos de reconocimiento que se acaban de describir, estaremos ya en firme para calcular de un modo aproximado su valor industrial, esto es, el beneficio que probablemente obtendrá el capital que se destine á su explotación.

Calcularemos, ante todo, la cantidad de mineral (mena) que el yacimiento contiene, cubicándolo según la longitud en dirección, el ancho en profundidad explotable, y el grueso en potencia media, es decir, teniendo en cuenta las variaciones que la potencia sufra de unos á otros lugares del criadero.

El arranque de este mineral será más ó menos costoso según la naturaleza de la ganga y la de la roca de caja, y según los accidentes adversos ó favorables que las condiciones geológicas del lugar nos predigan, tales como fallas, capas acuíferas, facilidades para el desagüe, naturaleza de la ganga para que pueda utilizarse en el relleno, necesidad de fortificación seria ó ligera, etc., y además las condiciones de obtener los jornales caros ó baratos y la probabilidad de que éstos se encarezcan, la presencia ó ausencia en las cercanías de bosques de maderas convenientes para el entibado, la clase de energía mecánica de que podremos disponer, el sistema de ventilación que habrá de adoptarse, etc.

Conocido el valor de la unidad de peso de mena, tendremos que cargarle el costo de la preparación mecánica y el tanto por ciento de merma que esta concentración suponga y el valor del transporte hasta pie de fábrica para su tratamiento metalúrgico.

Y, por fin, también le cargaremos los gastos de administración y dirección, y los intereses del capital que se considere necesario para llevar adelante la explotación.

Por otra parte, de los resultados de los análisis efectuados por distintos químicos sobre diversas muestras, tomaremos el que haya dado un tanto por ciento menor, y deduciremos, teniendo en cuenta también la naturaleza de la ganga, si el mineral será solicitado ó no por el mercado, lo cual ha de redundar, en último término, sobre el precio de venta. Respecto á este precio de venta se tendrán muy en cuenta las fluctuaciones que en el mercado suelen sufrir los precios de algunos metales.

Vistos los precios probables de coste y de venta, deduciremos el beneficio, y, por lo tanto, el interés que ganará el capital empleado, interés que ha de ser necesariamente mucho mayor que el corriente en las demás industrias establecidas en el país, para que se compensen los riesgos que sufre el capital en un negocio que casi ha de considerarse un juego de azar y en el que ha de sentarse, por consiguiente, un capítulo de imprevistos no pequeño en el presupuesto del proyecto de explotación.

CAPÍTULO IV

PROCEDIMIENTOS EMPLEADOS PARA EL ARRANQUE DE LA ROCA

Toda excavación, superficial ó subterránea, supone el arranque previo de la roca que antes ocupaba el recinto limitado por las paredes del hueco. Ya se ha visto en el capítulo anterior la manera de lograrlo en las operaciones denominadas sondeos. Vamos á verlo ahora para aquellas excavaciones en que, á medida que va adelantando la magnitud del hueco, también el hombre va avanzando para arrancar nuevas porciones de roca; tales son, por ejemplo, las galerías y pozos de reconocimiento que ya, antes de ahora, se han citado.

Es evidente que el único factor que influye en el método de arranque es la consistencia de la roca. Clasifiquemos, pues, éstas, según sea su dureza, dureza que, por otra parte, no sólo depende de la naturaleza de la roca, sino también de las acciones mecánicas y físicas á que se ha encontrado sometida en el transcurso de los siglos mediados

entre su formación y el día en que se procede á su destrucción por la mano del hombre.

Las rocas, por lo tanto, las dividiremos en:

1.° *Rocas sueltas* ó flojas (tierras vegetales, arenas, arcillas, etc., para cuyo ataque es suficiente la pala y á lo sumo el pico).

2.° *Rocas blandas* (rocas muy descompuestas, arcillas y arenas fuertemente aglomeradas, tierras de aluvión, turbas, carbones minerales, etc., para las cuales basta el pico, las palancas y las cuñas).

3.° *Rocas semiduras* (granito, calizas, dolomías, pórfidos y pizarras micáceas algo descompuestas, etc., para las cuales ya se acude al escoplo y al martillo, auxiliándonos á veces de la pólvora).

4.° *Rocas duras* (gneis, basalto, granitos de grano fino, la mayor parte de los pórfidos, minerales de cobalto, y, en general, todos los que son cuarcíferos; su arranque requiere casi siempre el empleo de explosivos).

5.° *Rocas muy duras* (calizas arcillosas, cuarzo puro ó mezclado con ciertos minerales, gneis, granitos cuarcíferos, etc.; resisten muchas veces á los más poderosos explosivos y ha de acudirse á medios indirectos como son el agua y el fuego, para que se hagan susceptibles de ceder á los esfuerzos de las palancas y de los explosivos).

Arranque á mano

En la anterior clasificación ya se han indicado los tres procedimientos generales de excavación, á saber: el método por percusión, el método por explosivos y los métodos indirectos.

No nos detendremos detallando los utensilios y manera de proceder los operarios en el método por percusión. El pico, zapapico, escoplo, martillo, palanca, pala, etc., son de uso bastante corriente para ser de todos conocidos. Generalmente, son manejados por un solo operario, y sólo cuando se usan escoplos de grandes dimensiones ó cuando las rocas son muy duras pero fáciles de desencajar con el auxilio de la palanca ó de la cuña, trabajan juntos dos operarios, de manera que mientras uno sostiene el escoplo en la posición conveniente, el otro maneja á la volea el martillo de mango largo, alternándose en su trabajo para concederse mutuamente el descanso que ha de reparar las fuerzas empleadas en el manejo del martillo.

Hay también otras ocasiones en que trabajan juntos más de dos operarios, y de ello veremos un ejemplo al tratar del beneficio á cielo abierto, en el capítulo siguiente.

También trabajan dos ó tres ó cuatro operarios juntos, cuando se quiere abrir un agujero de pequeño diámetro pero de gran profundidad, por medio de una barra cuya longitud tendrá que ser bastante grande en cuanto el orificio sea ya algo profundo. En este caso uno, dos ó tres operarios, según la longitud de la barra, levantan y dejan caer á ésta verticalmente contra el suelo, en el entretanto que otro operario sentado en tierra, en la primera parte de la operación, abarca con sus manos la barra á pequeña distancia del orificio para que no se incline hacia ningún lado.

Siguiendo este mismo modo de trabajar, pueden

abrirse también agujeros en las paredes; y tanto en uno como en otro caso, se llegan á emplear á veces barras de 4, 6 y hasta 8 metros de largo.

El trabajo á la barra se emplea también con un solo operario, pero entonces esta barra es de pequeñas dimensiones (fig. 48), siendo mucho más remunerador que el arranque por medio del escoplo y del martillo, porque aquí hay dos choques, el del martillo contra el escoplo y el de éste contra el suelo, con la correspondiente pérdida por transmisión del movimiento desde uno á otro extremo del escoplo, y allí sólo hay el choque directo de la barra contra la roca.



Fig. 48

Una observación final: el trabajo individual es, salvo raras excepciones, más reproductivo, más económico que el trabajo colectivo, de manera que éste suele emplearse únicamente cuando no queda otro medio á qué recurrir.

Arranque con explosivos

El arranque por medio de la fuerza mecánica engendrada por la explosión de determinados cuerpos llamados explosivos, es hoy muy empleada, habiendo hecho disminuir considerablemente el trabajo á mano.

Las substancias explosivas, ó simplemente explosivos, son aquellos cuerpos de composición tan inestable, que por el solo aumento de calor, ó por el choque, pueden descomponerse, desarrollando en un brevísimo espacio de tiempo, un gran volumen de gases y una considerable cantidad de calor.

Por consiguiente, si el explosivo se hace estallar en un recinto cerrado, tanto por el volumen gaseoso desprendido como por la elevación de temperatura producida, se ejercerán fuertes presiones sobre las paredes de la cámara, y si éstas no son lo bastante resistentes, serán destruídas y sus trozos proyectados á distancia á veces extraordinaria.

Al acto de estallar un explosivo se le llama *explosión*.

Son muchas las substancias explosivas conocidas, y cada día se aumenta su lista; pero no haremos aquí una descripción de ellas, pues es estudio que corresponde á los tratados de química. Con todas ellas podrían constituirse grupos y obtener una clasificación según la naturaleza química que les es propia; pero nosotros nos limitaremos á citar sólo unos tipos, que son los más usados y que podríamos llamar fundamentales, por cuanto las demás se asemejan bastante á ellas en composición. Más puede todavía decirse; muchas de las substancias explosivas preconizadas como de efectos especiales para determinadas aplicaciones, no son en realidad nuevos explosivos, sino que son sólo explosivos ya conocidos pero mezclados con substancias inertes cuyo efecto, en último resultado, se reduce á disminuir alguna de las cualidades de la substancia plagiada, tales como la fuerza expansiva, la velocidad de combustión, etc.

Los explosivos tipos á que nos referíamos son la pólvora, la nitroglicerina y el algodón pólvora, y además citaremos la dinamita.

Las condiciones de unos á otros de estos explosivos varían considerablemente, y en cada uno de ellos pueden todavía hacerse tales variaciones que, sin cambiar determinadas cualidades, varíen las otras.

De todas maneras, á pesar de tanta variedad, pueden definirse las condiciones que harán, en minería, preferible un explosivo á todos los demás, y éstas pueden ser, combustión instantánea, volumen gaseoso máximo para un volumen mínimo de explosivo, gases no perjudiciales, composición química inalterable hasta el momento en que se hacen estallar, y, por lo tanto, de fácil conservación y de seguro transporte, y, por fin, que no sean peligrosos de colocar en el lugar en que se les quiere hacer estallar.

Los explosivos pueden ser *rápidos* ó *lentos*, *fuertes* ó *flojos*. Los primeros son aquellos en que, siendo rápida la combustión, son también rápidos en sus efectos, y al contrario los lentos. Los fuertes son aquellos que engendran fuertes presiones por ser igualmente grandes la cantidad de gases desprendidos y la temperatura desarrollada.

La *pólvora* es una mezcla de nitrato potásico, carbón y azufre, y á veces otras substancias en cantidades variables según sus diversas clases, y hace explosión si se eleva su temperatura entre 270° y 300°. Si la pólvora ocupara por completo el hueco en que se la hace quemar, produciría una presión de 6,500 atmósferas; pero es natural que esto no es posible en la práctica.

La *nitroglicerina* es un líquido obtenido por la acción de los ácidos nítrico y sulfúrico sobre la glicerina; deflagra enérgicamente á los 217°, á 241° hace explosión y á los 257 detona; pero ha de observarse que si se expone á la temperatura antes dicha de 217° no por aumento sucesivo, sino de una manera rápida ó casi instantánea, entonces ya hace explosión. Un litro de glicerina puede desarrollar, introducida en un recinto de 1 decímetro cúbico de capacidad, la enorme presión de 470,000 atmósferas.

Tiene el inconveniente de que pequeños choques la hacen estallar, por lo cual es de peligroso manejo y transporte, y hasta sin choque puede hacer explosión, si se la conserva en recipientes herméticamente cerrados. Por ello es que hoy está en desuso, y se emplea en su lugar la dinamita.

La *dinamita* es el producto resultante de absorber la nitroglicerina mediante un cuerpo poroso; si éste es un cuerpo indiferente respecto á las propiedades que hacen apreciar un explosivo (sílice precipitada, polvo de ladrillo, trípoli, carbonato de magnesia, arena silícea), tendremos la *dinamita de base inerte,* y si el cuerpo poroso tiene composición tal que favorezca la intensidad del efecto de la nitroglicerina (por ejemplo, otro explosivo), la *dinamita* será *de base activa.*

En toda dinamita es condición esencial que constituya un producto absolutamente homogéneo, sin que se presente en ningún punto la menor cantidad apreciable de nitroglicerina libre, pues entonces no quedarían evitados los peligros de explosión espon-

tánea ó por el choque, que presenta la nitroglicerina pura. Es una substancia que, antes de verificarse la explosión, puede arder al aire libre durante un corto pero suficiente tiempo para ponerse en salvo.

Su explosión se ha de determinar comunicándole la inflamación por medio de un *fulminante,* que suele ser el fulminato de mercurio que detona á 195°, y aun es necesario que este fulminante esté en contacto íntimo de la masa de dinamita que se quiere hacer estallar. La dinamita ha de conservarse en lugares secos y ventilados porque el agua la destruye. No se conservarán nunca juntos en un mismo depósito la dinamita y el fulminante, sino en edificios separados.

Un derivado de la dinamita es la *dinamita goma,* que es una mezcla de nitroglicerina, de alcanfor y de algodón pólvora, con la cual se obtienen resultados más enérgicos que con la dinamita usual, y además puede utilizarse en lugares húmedos, porque el agua la ataca sólo superficialmente.

El *algodón pólvora* es el producto resultante de la acción de una mezcla de ácidos nítrico y sulfúrico sobre el algodón en rama. La substancia así obtenida arde con rapidez tan extraordinaria, que aunque se inflame sobre un montón de pólvora ordinaria, no le comunica la llama. Necesita, al igual que la dinamita, un fulminante para hacerlo estallar, si bien una temperatura de 220° es suficiente para determinar su explosión espontánea. El agua le resta sus propiedades explosivas, sin que de todas maneras quede destruído; y, en efecto, el algodón

pólvora húmedo se puede hacer estallar si se le ceba con algodón pólvora seco.

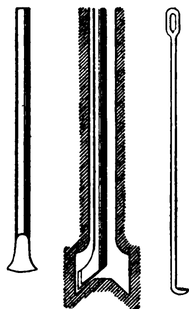
La aplicación de los explosivos al arranque de las rocas, supone la perforación de una cámara en ellas para poner al explosivo en el seno de la masa que queremos arrancar. Este orificio se denomina *barreno*, y puede ser de dimensiones muy variables, desde menos de un decímetro cúbico hasta varios metros cúbicos, según sean los efectos mecánicos que se deseen obtener del explosivo.

Los barrenos de pequeñas dimensiones suelen ser de poco diámetro y gran profundidad, y en su perforación han de tomarse precauciones para que no se resquebraje la roca, pues si se produjesen grietas ó si la roca las contuviera ya naturalmente, se comprende que los gases desprendidos en la explosión se expansionarían por ellas y sería menor ó nulo el efecto producido. Emplearemos, pues, el cincel (fig. 49) y el martillo, con la natural precaución de tener varios cinceles ó *barrenas* para cambiarlos en cuanto se caldeen, lo cual acarrearía su destemplado, ó no muerdan por haberse desgastado el filo, y si el agujero ha de ser regularmente profundo, por ejemplo, un metro, se tendrán varias de longitud creciente para empezar el trabajo con la menor y terminar con la mayor, que no suele pasar de 1'30 metros de longitud.

Si el agujero ha de ser de diámetro algo grande, las barrenas deberán ser también de mayor diámetro; pero también pueden horadarse dos barrenos de pequeño diámetro paralelos y á poca distancia

uno de otro, y luego se hace estallar en uno de ellos una carga pequeña de algún explosivo, lo cual producirá la destrucción del tabique intermedio, quedando una sola cavidad. Este segundo procedimiento resulta más económico que el primero.

Cuando se desea perforar un barreno de poco diámetro, pero capaz de contener una carga mayor de la que permitiría la forma cilíndrica del agujero, se labra una pequeña cámara en el fondo, y para lograrlo se utiliza una *barrena acodada* cuyo manejo ya indica la sola inspección de la fig. 50.



Figs. 49, 50 y 51

Los detritus que en todos los casos citados se producen por la trituración de la roca, se extraen con la *cuchara* (fig. 51).

Cuando se tienen que arrancar ó hacer saltar grandes masas de rocas, se perforan varios barrenos, convenientemente distribuídos por la masa pétrea, los cuales se hacen estallar á la vez ó con cortos intervalos, si bien el primer sistema está casi abandonado por el peligro que representa el desconocimiento de si han estallado todos los barrenos, pues, desgraciadamente, se han dado numerosos casos que al remover la roca arrancada ha hecho explosión alguno que se ha retardado. Por ello es que se calculan las mechas que comunican el fuego á la carga de los varios barrenos, de manera que haya tiempo sobrado para contarlas distintamente, y si se han oído tantas explosiones como barrenos

había preparados, podremos asegurar que no queda ninguno que haga peligrar la vida de los obreros que tengan el encargo de levantar los escombros.

Aun así puede darse el caso de que las mechas ardan con desigual rapidez, y si no se nota el número de explosiones que debieran producirse, puede caber la duda de si se ha producido más de una explosión al propio tiempo. Por ello es de recomendar que se comunique el fuego á la carga mediante la electricidad, con lo cual haremos saltar el barreno en el preciso instante en que nos convenga.

Otras veces un barreno no estalla en el tiempo que debiera hacerlo, porque algún obstáculo accidental impide la libre propagación del fuego á lo largo de la mecha ó del cebo, produciéndose, pues, un *retardo*. Por ello es que ha de dejarse pasar un tiempo prudencial desde que se ha producido la última explosión hasta que se da orden de que los operarios vayan á despejar el frente de ataque.

Modernamente, este sistema de barrenos múltiples va abandonándose y se prefiere preparar un barreno de grandes dimensiones, cargado con una cantidad de explosivo que pueda arrancar de una sola vez varios miles de toneladas de roca, habiéndose efectuado disparos que han removido hasta más de 100,000 toneladas de material. El barreno, en estos casos excepcionales, está formado por verdaderas galerías en forma de zigzag, que llegan hasta el centro de la masa que se quiere arrancar, donde se labra una cámara ú *hornillo* para acumular el explosivo en la cantidad calculada como suficiente para

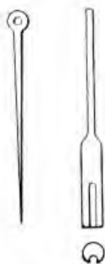
efectuar el trabajo deseado, cantidad que á veces ha ascendido á más de 20 toneladas. No hay que decir que estas operaciones requieren sinnúmero de precauciones que el ingeniero deberá tener muy meditadas, tanto para seguridad personal y material, como para que con el mínimo de carga se obtenga el máximo de efecto.

En cuanto se ha despejado la atmósfera de los humos producidos por la explosión de los barrenos, se acercan los operarios y con fuertes barras de hierro manejadas á guisa de palancas, van desamontonando las rocas removidas por la voladura, tomando grandes precauciones en el caso en que quepa la duda de si han estallado todos los barrenos.

Los barrenos que no han estallado no se descargan ni se hurgan para ver la causa que ha impedido la explosión, sino que se perfora á poca distancia suya otro barreno, que se hace volar una vez cargado, y cuya explosión acarrea la del barreno fracasado en la primera voladura.

Hay también barrenos que no han producido efecto, ya por haber dado *fogonazo,* ó sea que se haya expansionado la carga por la boca, ya por haberse expansionado los gases por grietas de la roca que no se hubiesen visto al prepararlo. Tanto en uno como en otro caso, ha de adquirirse la certeza de que no ha quedado en el interior carga alguna para proceder á una nueva carga, si bien los barrenos fallados por causa de las grietas de la roca, tendrán que abandonarse si las fisuras son grandes, ó por lo menos lodarse, si son pequeñas.

Para que la explosión no dé fogonazo, es necesario obturar fuertemente la boca del barreno en cuanto se ha introducido la carga en él. Cuando se trata de barrenos de pequeña dimensión, ó, mejor dicho, de pequeño diámetro, se *ataca* introduciendo un tapón de materias más ó menos plásticas, arcilla, ladrillo molido, pizarras hullíferas, yeso, etc., sin cuarzo ni cuerpos duros, para que al atacar con la *aguja* (fig. 52) y la *atacadera* (fig. 53), que deben ser de latón ó cobre, no salte ninguna chispa, que acarrearía antes de tiempo la explosión y que sería mortal para el operario; y si los barrenos fuesen de grandes dimensiones, entonces se tabican las galerías con paredes de mampostería, reforzadas con amontonamientos de rocas para que no sean derribadas por los efectos mecánicos de la explosión.



Figs. 52 y 53

Otros medios de arranque

Cuando por circunstancias especiales no puedan emplearse los explosivos, puede acudirse á otros medios de arranque, tales como los fundados en las propiedades mecánicas, físicas ó químicas del agua, y la acción disyuntiva que ejerce una temperatura elevada sobre determinada clase de rocas.

Se aprovecha la *acción mecánica del agua* introduciendo violentamente por entre las hendeduras que presente la roca, ó por orificios expresamente abiertos en ella, cuñas de madera bien seca que

luego se pone en contacto de agua para que se empape y se dilate, ejerciendo fuerte presión contra la masa de la roca, que pocas veces resiste á tan extraordinario esfuerzo como representa dicho aumento de volumen.

Otras veces se deja correr el agua por el lugar que quiere excavarse, como por ejemplo galerías de gran pendiente, agujeros de sonda, y, de una manera más patente, en los placeres de California, donde se proyecta á enorme presión por medio de los aparatos llamados *gigantes,* contra los terrenos que se quieren descalzar.

La *acción física del agua* se aplica, por sus propiedades disolventes, en alguno de los sistemas de beneficio de salinas; y en los países fríos, por el aumento de volumen que sufre el agua al congelarse. De manera que llenando de ella varias cavidades hechas y convenientemente repartidas en la roca que se quiere derribar y tapando fuertemente su boca con un taco de madera introducido á golpes de maza, se deja que el frío de la noche la transforme en hielo.

También citaremos que uno de los métodos modernos de explotación del azufre consiste en abrir sondeos é introducir por ellos, en cuanto se ha alcanzado el yacimiento, vapor á elevada presión que funde el azufre del mineral, el cual sube así en estado líquido hasta la superficie por efecto de la presión á que se encuentra sometido. Ya tendremos ocasión de detallar esta operación al hablar de los métodos de beneficio.

La acción química se utiliza en los barrenos

cargados con cartuchos de cal viva, comprimida á 1,200 atmósferas, que una vez obturada la boca del agujero se ponen en contacto del agua, con lo cual aumenta hasta cuatro veces su volumen primitivo; y el agua, por su parte, se vaporiza y ayuda en grado extraordinario á la acción expansiva de la cal.

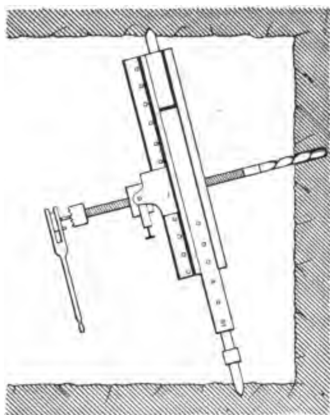
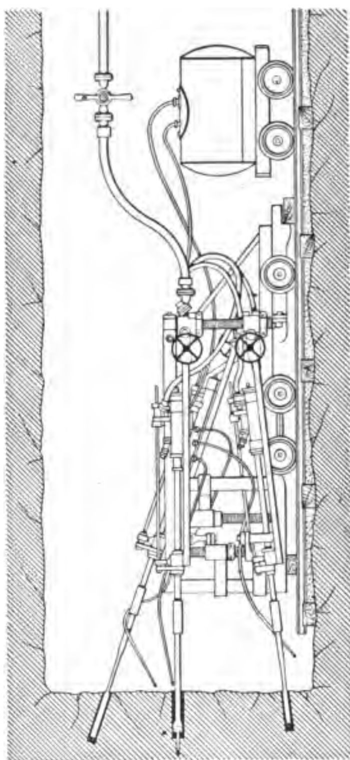


Fig. 54

La acción del fuego, que ya queda casi relegada al olvido, se aprovecha especialmente cuando la roca no es homogénea, por que entonces la desigual dilatación de sus varios componentes produce grietas, en particular si alguno de estos componentes tiene agua de hidratación ú otros elementos volátiles. Este procedimiento sólo resulta económico en el caso en que la leña con que se alimente el fuego sea de fácil y barata adquisición, y consiste en disponer hogueras cuyas llamas laman la roca que se quiere resquebrajar, ayudando á veces el fuego con la proyección de agua fría contra la superficie caldeada.

Por otra parte, presenta el inconveniente de que durante la combustión, los obreros han de alejarse del lugar del trabajo hasta que haya terminado y quede limpia la atmósfera de los productos

irrespirables que se habían producido; entonces entran para destruir ó derribar con los instrumentos usuales la roca tostada, y, si no cede, se prepara una nueva tostación.


Fig. 55

No hay por qué decir, porque ya lo habrá observado el lector, que en el caso de minas perjudicadas por la presencia del grisú, deberán tomarse precauciones especiales para evitar su inflamación.

Perforación mecánica

Modernamente, los aparatos mecánicos de arranque facilitan de una manera asombrosa el derribo de las rocas. Las excavadoras y las perforadoras, sencillas ó múltiples, movidas con fuerza de sangre ó con fuerza mecánica, son de uso corriente y cómodo. Un reducido número de obreros efectúa el trabajo que antes requería varias brigadas, y, además, las condiciones higiénicas de la atmós-

fera son mucho mejores desde el momento que no hay aglomeración de operarios, ni levantamiento de polvo, ni, en algunos casos, emanaciones perjudiciales procedentes de la inflamación de los explosivos cargados en los barrenos.

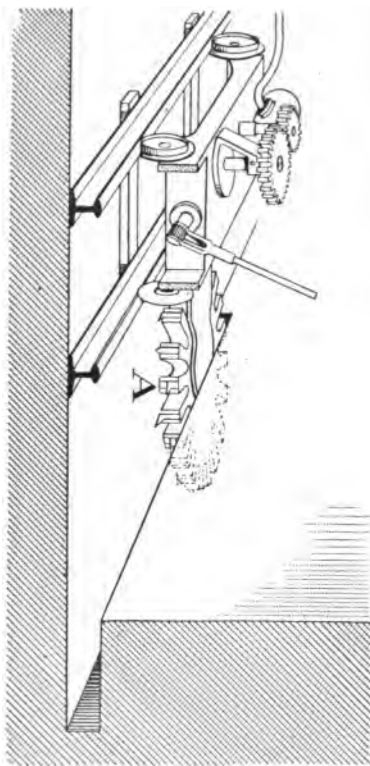


Fig. 56

Bien quisiéramos exponer á continuación una descripción detallada de los principales tipos en que pueden clasificarse estos auxiliares de la minería moderna; lo merecen no sólo por ser ejemplos del ingenio demostrado por sus inventores, sino también porque ellos han venido á dignificar al hombre relevándole de un trabajo por demás fatigoso y repulsivo. Pero no siéndonos posible salirnos de la senda que nos hemos marcado, nos limitaremos á ordenarlos según la clasificación adoptada por el Sr. Malo de Molina, en su obra *Laboreo de Minas*, incluyendo, además, en

ella, los aparatos movidos por medio de la electricidad.

Dice así el mencionado Ingeniero:

«Desde luego encontramos en la clase de fuerza que los pone en movimiento, una razón muy justificada para dividirlos en dos grupos:

A) Aparatos mecánicos movidos por fuerza del hombre;

B) Aparatos mecánicos movidos por fuerza inanimada.

Pero esta fuerza inanimada puede ser producida por el aire, por el agua, por el vapor ó por la electricidad; luego este grupo *B* debe subdividirse en otros cuatro grupos que llevan estos nombres.

Todos ellos ejercen su acción contra el terreno de dos modos completamente distintos: abriendo barrenos, para emplear después los explosivos, ó arrancando todo el frente de roca sin explosivo alguno; es decir, *perforando* ó *excavando*.

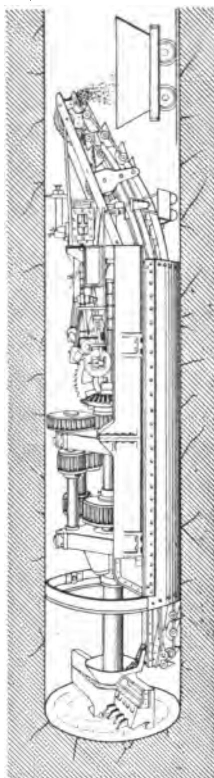


Fig. 57

Á seguida vemos que aquella perforación la ejecutan á golpes consecutivos ó con movimientos giratorios, ó sea barrenando por percusión ó por rotación.

La clasificación que con arreglo á estos caracteres resulta, es, pues:

A) Aparatos mecánicos de mano.		Perforadoras por percusión Perforadoras por rotación
B) Aparatos mecánicos de fuerza por	aire .... agua....... vapor...... electricidad..	Perforadoras por percusión Perforadoras por rotación Excavadoras

Como ejemplos de perforadora á mano, citaremos la de Jordán que funciona por percusión, y la de Lisbet (fig. 54) que obra por rotación; como perforadoras mecánicas, la de Dubois-François (fig. 55), y como excavadoras, la descalzadora Winstanley (fig. 56), y la de Beaumont (fig. 57).

Estas grandes máquinas no pueden emplearse en todas ocasiones, pues requieren que el yacimiento presente gran regularidad; por ello es que donde más se utilizan es en las minas de carbón de hulla de gran potencia, y casi nunca en los criaderos metalíferos.

CAPÍTULO V

PERFORACIÓN DE GALERÍAS Y POZOS

Vistos los diversos medios que pueden aplicarse para el arranque de la roca, según sea la dureza que esta roca nos ofrezca, podemos ya pasar al estudio de la manera de abrir las excavaciones que nos han de llevar hasta el sitio en que yace la masa mineral.

Ya en el capítulo II se habló de galerías y pozos, pero sin definirlos, pues no era aquél el lugar á propósito para ello; vamos ahora á hacerlo para formarnos exacta idea de lo que han de ser los trabajos mineros.

Una excavación subterránea tiene indefectiblemente tres dimensiones, de las cuales sólo una puede crecer indefinidamente, puesto que si crecieran dos de ellas á la vez más allá de ciertos límites, se derrumbaría la excavación. Estos límites no son muy amplios y dependen casi exclusivamente de la consistencia de la roca en que ha sido efectuada la excavación. De todas maneras, se pueden

citar excavaciones artificiales de grandes dimensiones, especialmente en las minas de substancias salinas explotadas por el procedimiento de disolución, y también podríamos citar de naturales que poseen dimensiones verdaderamente extraordinarias.

En la generalidad de los casos, no obstante, no podremos tomar como modelos estos casos excepcionales, y deberemos reducir nuestras aspiraciones á la perforación de huecos en que dos de las dimensiones no pasarán de unos tres á cuatro metros como máximo, pudiéndose prolongar la tercera según nuestra voluntad.

Las excavaciones con una dimensión de gran longitud reciben el nombre de *pozos* ó *galerías;* pozos, si es la altura la que se ha hecho crecer á nuestro albedrío, y galería, si es una de las otras dos; ó sea, pozos, cuando la dimensión grande es vertical ó sensiblemente vertical, y galerías, si es horizontal ó sensiblemente horizontal. Entre unos y otras, hay las excavaciones denominadas *pozos inclinados* ó *coladeros,* que se han hecho crecer según una dirección comprendida entre la diagonal y la vertical, y las denominadas *galerías inclinadas,* que se han hecho crecer según una dirección comprendida entre la diagonal y la horizontal.

Si las dimensiones crecidas son dos, y en este caso, frecuentemente, son las correspondientes á las horizontales, tendremos las *cámaras de trabajo, canteras,* ó *frentes de labor ó arranque,* cuyo estudio no nos interesará hasta ver los métodos de explotación ó beneficio.

Volviendo, pues, á los pozos y galerías, es conveniente indicar que en numerosos casos son las rocas tan deleznables, desmoronadizas ó inconsistentes, que, á pesar de reducir las dimensiones pequeñas al mínimo posible, esto es, al que sólo permita el paso del cuerpo humano, se nos caerían si no las sostuviéramos convenientemente. Y aun es más: dentro de poco, en este mismo capítulo, citaremos un método en que el avance sólo se logra tomando la precaución de sostener las paredes de la excavación aun antes de abrir ésta. Á esta operación de sostener el empuje, no el peso, que el terreno ejerce en el sentido del hueco, se le denomina *fortificación de excavaciones*. De ella tendremos, pues, que hablar previamente, como introducción al estudio de lo anunciado en el título de este capítulo.

I

PROTECCIÓN DE LAS EXCAVACIONES

En la fortificación ó protección de las excavaciones pueden emplearse materiales metálicos, materiales pétreos ó materiales leñosos. En el primer caso tenemos el *blindado*, en el segundo, el *revestimiento*, y en el tercero, la *entibación;* y si bien las tendencias modernas son de suprimir este último sistema en la fortificación de aquellos huecos que han de prestar servicio durante un tiempo relativamente largo, substituyéndolo por alguno de los dos

primeros, no por ello es posible dispensarse de su descripción, por cuanto es el único empleado en el sostenimiento de aquellas galerías ó pozos cuya vida ha de ser efímera, esto es, sólo el tiempo en que se hace indispensable la presencia del hombre para lograr el arranque del mineral y subsiguiente transporte hasta las vías principales por que se le ha de conducir al exterior.

Entibación

La entibación, como se ha dicho, tiene por objeto mantener constantes las dimensiones de las excavaciones mediante el empleo de materiales leñosos.

Estos materiales leñosos consisten exclusivamente en madera toscamente labrada, y aun á veces ni siquiera se descortezaría sino fuese que la madera sin descortezar es muy rápidamente destruída en su interior por la putrefacción, sin que se note señal alguna en su exterior, y, por lo tanto, nos expondríamos á que, á pesar del buen estado aparente de la entibación, se nos derrumbasen las paredes del hueco.

No todas las maderas son propias para este objeto, pues ó son demasiado atacables por los insectos ó agentes atmosféricos, ó son poco resistentes, ó son demasiado caras. No hay duda que las segundas han de ser inexorablemente descartadas; no así las últimas, pues el precio es condición que, naturalmente, depende de su densidad y de las condiciones de resistencia á la alteración ó al empuje de que estén dotadas. Hay, además, otra circunstan-

cia que puede hacernos desechar una clase de madera que reúna las tres condiciones anteriores en grado aceptable; y es la propiedad que poseen algunas maderas de romperse *en seco* cuando están sobrecargadas, ó cuando la *fatiga* no les permite contrarrestar ó sostener por más tiempo las presiones que se les asignaron.

Las maderas fácilmente destructibles por los agentes fisiológicos ó atmosféricos, pueden tratarse por determinadas substancias químicas que les presten la propiedad de resistir mejor á la acción perniciosa de dichos agentes. Este tratamiento, sin embargo, será en ocasiones innecesario, pues, por lo regular, las maderas empleadas en las minas quedan destruídas antes por las acciones mecánicas que contrarrestan, que por su alteración química; su trabajo es tan intenso que á los pocos meses, y hasta á veces á los pocos días, han de ser cambiadas por otras nuevas. Por lo tanto, el tratamiento á que se sometan ha de ser muy económico, pues que su solo objeto es salvar la posibilidad de que una madera quede destruída por vieja antes de que las presiones resistidas la pongan inservible.

Por lo general, las maderas se sumergen en agua, ó en disoluciones de cal (lechada), de vitriolo verde ó de vitriolo azul, muy diluídas, y á veces sólo se tuestan superficialmente. Así la cal se emplea al 5 por 100, el sulfato de hierro al 1 $^1/_2$ por 100, y el sulfato de cobre en un grado de dilución todavía mucho mayor. La primera de las preparaciones, ó sea la empapación de agua, se efectúa de manera muy sencilla introduciendo durante

varios meses la madera en el fondo de algún pozo lleno de agua, pues así, á más del contacto, obra la presión correspondiente á la altura; y otras veces se aplica ya después de colocada en el sitio en que ha de prestar servicio, haciendo de manera que llegue hasta ella el agua y que ésta se deslice por su superficie mojándola constantemente, obteniendo así una ventaja apreciable, que es la supresión de la influencia perniciosa sobre la madera de las alternativas de humedad y sequedad á que á veces están expuestas las entibaciones, principalmente en la región correspondiente al nivel hidrostático.

Á continuación ponemos un estado demostrativo de la influencia de la preparación de la madera, en lo que atañe á su duración:

Procedimiento de conservación

MADERAS	Agua de mina	Carbonización	Alquitrán	Creosota	Cloruro de cinc	Sulfato de cobre	Sulfato de hierro
Acacia	1'20	7'22	5'33	2'20	40	8	26'60
Aliso	—	—	1	—	20	—	50
Abedul	1	—	—	—	50	2'66	13'33
Cerezo	1'66	—	3'16	—	—	2'50	1'83
Hojaranzo	3	2'50	7	15	50	—	12
Encina	10'40	1	14'40	3'60	14'40	38'40	28'80
Arce	2'50	3	6	12	—	7'50	—
Haya	1	1'37	6	1'75	50	50	7'50
Alamo	1	—	2'20	—	—	11'38	2'61
Pino marítimo	1	1	—	40	8	5'33	2'66
Temblón	1	—	2'50	—	—	2'50	8
Arraclán	1	1	2'11	40	40	4	10

Estas cifras nos dan la duración de las maderas preparadas, tomando como unidad la duración de la madera sin preparar (Haton de la Goupillière).

Si lo que se desea saber es la duración relativa de unas especies de madera respecto á las otras, pueden consultarse las siguientes cifras, del mismo autor:

Encina	**50 meses**
Haya	**24 »**
Abedul	**18 »**
Cerezo	**18 »**
Álamo	**18 »**
Pino	**18 »**
Temblón	**18 »**
Arraclán	**18 »**
Acacia	**9 »**
Hojaranzo	**6 »**
Arce	**6 »**

Combinados este cuadro y el anterior, nos darían el tiempo de duración absoluta de las maderas preparadas.

Según es la forma, así es la denominación de cada una de las piezas que entran á formar las entibaciones. Por ejemplo, las *ademas* son troncos ó ramas de árbol simplemente descortezadas; las planchas son *tablas* de madera de la forma que vemos corrientemente en la vida ordinaria; las *costillas* son los desechos obtenidos al escuadrar los troncos; los *latones* son ramas algo gruesas é irregulares, que se denominan *ramas* si son delgadas; las *rachas* son latones partidos á lo largo en cuatro partes, etc.

Todas estas formas dadas á las maderas empleadas en minería se obtienen con un muy tosco labrado, en el cual no se emplea nunca la sierra, sino sólo

el hacha, para que no queden las fibras sin apoyo directo por sus extremos, ya que toda fibra que termine antes del extremo de la adema es como si no existiese. Este trabajo se hace á mano; pero actualmente se hacen esfuerzos, dado el crecido número de piezas que se necesitan diariamente en una explotación, por poca importancia que tenga, para efectuarlo mecánicamente por medio de máquinas, de las cuales hay ya alguna en funcionamiento.

Entibado de las galerías

No necesitaremos entrar en muchos detalles para dar á entender palpablemente las variadas disposiciones que se adoptan para el sostenimiento de los empujes en las galerías.



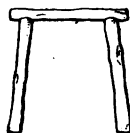
Fig. 58

Es evidente de por sí que la forma que ha de tener el entibado de una galería, es el representado en la fig. 58; esto es, una serie de *marcos,* dispuestos más ó menos próximos unos á otros, según sean más ó menos considerables los esfuerzos que deban ser resistidos; y en los casos en que la tierra sea desmoronadiza, se protegen las porciones de paredes y techo que quedan entre marco y marco, mediante largas ramas ó rachas, ó bien mediante tablas, si es muy suelta, y hasta se llega á veces á colocar los marcos tocándose unos á otros (portadas ó marcos unidos).

Se comprende, no obstante, que según sean las condiciones de resistencia que nos ofrezcan las pare-

des ó techo, así deberá modificarse el marco, con lo cual se logrará una economía de consideración, tanto en madera como en jornales.

Por de pronto, á no ser que el piso sea poco consistente, casi siempre puede modificarse el marco transformándose en una *portada,* por supresión de la *solera* ó *atravesado* (fig. 59); y si una de las paredes, ó las dos, son también resistentes, tendremos ocasión de suprimir, además, uno ó ambos *peones* obteniendo la *media portada,* ó bien la reducción del marco á la sola *cumbrera* ó *capa* (fig. 60).


Fig. 59

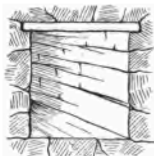
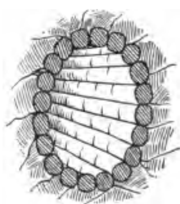

Fig. 60


Fig. 61


Fig. 62


Fig. 63

Las figs. 61 y 62 nos dan, por su parte, idea de la entibación de las galerías en que los esfuerzos á resistir no son normales á las paredes de la galería. Se ven en ellas representados dos criaderos igualmente inclinados, pero cuyas paredes no poseen igual consistencia; en el primero, persiste con el marco completo; en el segundo, ha podido quedar éste reducido á uno solo de los peones.

La fig. 63 representa un entibado completo de otro sistema mucho más resistente, el cual consiste en una serie de *rollizos,* ó trozos cortos de tronco, dispuestos de la manera indicada en la figura, tapizando toda la superficie de las paredes de la galería, cuya sección ha de ser, en este caso, una elipse de ejes más ó menos desiguales.

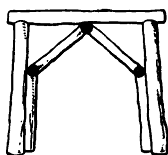


Fig. 64

Cuando las galerías son de ancho mayor que el normal, ó bien no se dispone de madera bastante sólida para resistir los esfuerzos de flexión de alguna de las piezas componentes del marco, se recurre á afianzarlas mediante piezas adicionales. Tales son los casos representados en las figs. 64 y 65, en que necesita auxilio sólo la cumbrera (fig. 65), ó bien la cumbrera y los peones á la vez (fig. 64). Esta última disposición también se adopta en aquellos casos en que, siendo débil sólo la cumbrera, es indispensable al propio tiempo conservar expedito todo el ancho de la galería.

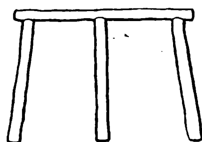


Fig. 65

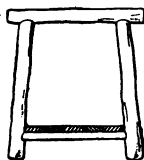


Fig. 66

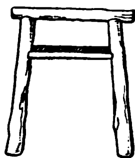


Fig. 67

La forma especial de las figs. 66 y 67 responde á otras dos necesidades. La primera se utilizará cuando siendo algo abundante el agua que deriva por la galería, se desea que no dificulte la circulación; y la segunda tiene por objeto disponer

un retorno de aire ó una derivación de la corriente ventilatoria. Tanto una como otra consisten en una especie de *camada* ó *enlatonado* sostenido por unos travesaños dispuestos á la altura correspondiente en cada uno de los marcos.

Los pozos, en la actualidad, pocas veces se entiban, porque siendo construcciones que comúnmente son utilizadas durante tiempo indefinido, se las protege mediante revestimientos de mampostería. Á pesar de ello, no puede dejarse de describir el entibado de los pozos, puesto que en algunas localidades todavía se emplea este sistema de fortificación; y, además, porque á veces se entiban provisionalmente en espera del momento en que se les ha de dotar de la protección definitiva.

Los pozos de minas, si han de ser entibados, se construyen de sección poligonal, generalmente rectangular. El porqué de esta preferencia por la sección rectangular, se explica simplemente en la mejor repartición que puede hacerse de la sección del pozo, para que cada uno de los servicios que han de prestarse en él tenga su departamento especial, y en la necesidad de que el perímetro sea poligonal para corresponderse con la forma rectilínea de los leños que la han de fortificar. Siendo rectangular, por otra parte, las presiones del terreno, pueden hacerse que obren en el sentido de la menor longitud con solo orientar la sección del pozo de manera que los lados cortos ó testeros sean paralelos á la estratificación del lugar.

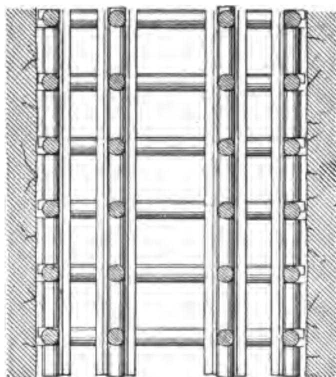
Pero si la entibación no ha de ser definitiva, sino

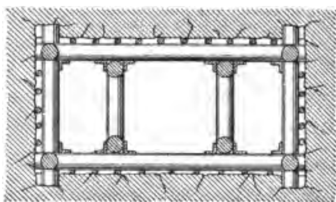
que sólo se adopta provisionalmente para mampostear más tarde, por ejemplo, cuando el terreno haya desarrollado ya las *presiones irresistibles* que hubieran arruinado quizás el revestimiento de mampostería, y que ahora se han dejado expansionar por las condiciones especiales que posee la entibación, no se dará al pozo sección rectangular ni cuadrada, sino poligonal, de manera que empleando rollizos de un metro de largo, como máximo, quede una sección de forma aproximadamente circular ó elíptica, según que haya de ser circular ó elíptica la que definitivamente ha de tener el pozo. Ya se entiende por lo dicho, que el número de lados del polígono de la sección dependerá del diámetro, ó de los ejes, de la sección del pozo.

La manera de proceder para construir la entibación de un pozo es sencilla, al igual que en las galerías, pero la necesidad de que no se produzcan desperfectos en una vía que, cual los pozos maestros, está afecta á varios servicios, obligan á cuidar extraordinariamente tanto la calidad de la madera, como el sistema empleado para su conservación, y á tomar las mayores precauciones durante la misma construcción.

Ante todo se coloca en el suelo, en la superficie, un marco construído con cuatro piezas, iguales dos á dos, y de manera que queden apoyadas por sus extremos en el suelo, y que el que podríamos llamar perfil exterior coincida con la sección dada al pozo. De distancia en distancia, variable con la consistencia del terreno, se colocan otros cuadros análogos,

formados también por dos *maestras* y dos *cruceros*, pero terminando en el punto de encuentro de cada dos, esto es, formando un verdadero rectángulo, y no como en el cuadro del brocal, en que los lados quedaban algo prolongados más allá de los vértices, y para sostenerlos se acuñan fuertemente contra las paredes del pozo. Por otra parte, en cada uno de los vértices del pozo se colocan cuatro pies derechos, que se apoyan en cada dos marcos sucesivos, constituyendo un conjunto indeformable; y á veces, para dar mayor solidez á este conjunto, se adoptan en cada uno de los ángulos unos largueros que interesan á varios cuadros.





Figs. 68 y 69

Las figs. 68 y 69 representan la entibación de un pozo rectangular, viéndose entre marco y marco los pies derechos para unirlos y conservarlos constantemente á igual distancia, y también los largueros á que acabamos de aludir. Se observa, además, que cada marco está adicionado de dos cruceros interiores, cuyo objeto es impedir la flexión de las maestras en los casos en que sea de

temer que éstas no puedan resistir las presiones del terreno. Estos cruceros interiores se afianzan en cada marco por medio de largueros que interesan á distintos marcos.

El espaciamiento entre cada dos marcos consecutivos depende de la consistencia del terreno; cuanto menor sea ésta, más los aproximaremos, y si tan desmoronadizo fuese, podríamos llegar á colocarlos tocándose cada dos consecutivos, al igual que hemos indicado sucedía en análogo caso en las galerías. Además, también aquí puede suceder que se trate de terrenos tan sueltos que no permitan efectuar el menor hueco sin ser inmediatamente llenado por la misma tierra suelta, y entonces se tendrá que emplear el paradoxal sistema indicado para las galerías de sostener la excavación antes de que exista.

Cuando no todas las paredes de un pozo requieren fortificación, por tener suficiente consistencia alguna de ellas, se podrán modificar los marcos de la manera oportuna, y hasta en ocasiones podrán quedar reducidos á uno solo de los lados, ó á alguno de los cruceros interiores; pero no nos extenderemos en este asunto, pues por analogía podrá el lector orientarse lo suficiente con lo dicho hace poco respecto de las galerías. Pasaremos, por lo tanto, á indicar ligeramente cómo se colocan las ademas en los varios casos que pueden presentarse.

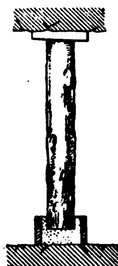
Colocación de las ademas en su lugar

Supongamos, en primer lugar, que se trata de la colocación de una

adema que ha de obrar individualmente, esto es, con independencia del trabajo que otras ademas puedan efectuar.

Si la adema ha de prestar su servicio resistiendo presiones en el sentido de su longitud, por ejemplo, á manera de columna que ha de sostener un techo, ó bien de travesaño que ha de contrarrestar la tendencia de los muros á aproximarse, recibe el nombre de *estemple*, y su colocación exige labrar previamente con el cincel ó punterola dos planos para asiento de las extremidades del estemple, tomando la precaución de que uno de ellos facilite la entrada de la adema hasta la definitiva posición que ha de tener. Por su parte, los extremos del estemple también han sido cortados normalmente á su eje, y se ha dejado un poco más largo que la distancia que separa á los dos planos labrados en la roca para que, después de haber hecho entrar la adema hasta su lugar á golpes de maza, quede bien asegurado y ejerciendo una contrapresión contra las paredes de la excavación. Si el estemple se hubiese cortado corto, se remienda introduciendo una cuña entre él y la roca; pero ha de advertirse que no siempre los maderos colocados entre un estemple y la roca indican que se ha remendado un estemple mal cortado, sino que en ocasiones se ponen *galápagos* por la parte alta ó cabeza del estemple, ó *marranillos* por su parte baja ó *culata*, para suministrar mejor apoyo á la adema y repartir mejor su acción resistente por interesar mayor superficie. Cuando el galápago interesa á varios estemples, se le denomina *baltrote*.

La fig. 70 representa una disposición especial, que facilita grandemente tanto la colocación del estemple como su separación del servicio; lo primero, por medio del galápago que lleva en su cabeza, y lo segundo, por medio del aro metálico relleno de piedrecitas que hay en su culata, pues abriendo el aro y desamontonando las piedrecitas queda la adema ó estemple libre de la presión que le transmitía el techo.


Fig. 70

Si la adema ha de resistir esfuerzos de flexión recibe el nombre de *puente;* y su colocación, si ha de trabajar horizontalmente entre dos paredes verticales, puede lograrse labrando dos planos inclinados en dichas paredes, que terminen en dos asientos sobre los cuales pueda descansar la adema; y como que ésta deberá tener longitud bastante mayor que la distancia que separa las dos paredes, deberá tomarse la precaución de que uno de ellos tenga suficiente *entrada,* para que pueda colocarse la adema en su lugar.

Los puentes, en muchas ocasiones, se emplean en series de ellos formando una *camada* para sostener directamente escombros, ó bien se cubren con planchas ó rollizos, y entonces se tiene una *encamación.*

También se emplean estemples y puentes apuntalados por medio de *tornapuntas* ó *jabalcones.*

Para colocar un cuadro ó marco completo de galería, se empieza colocando en el piso la solera

constituída por un medio rollizo, con la cara plana en contacto con el suelo, y luego se sostiene provisionalmente en el techo la cumbrera, en la cual se habrán labrado los huecos en que han de apoyarse los peones. Se cortan, ahora, á la medida los peones, los cuales serán algo más largos que lo que buenamente deberían ser, y se apoyan en las entalladuras de la solera por el extremo más delgado y se hacen entrar á golpes de maza hasta que el otro extremo llega á situarse en la entalladura ó hueco correspondiente de la cumbrera. De esta manera queda fuertemente apuntalado el marco contra el suelo y techo de la galería; y se apuntala contra las paredes, si es necesario, mediante cuñas interpuestas entre el peón y la roca. Se coloca la parte gruesa del peón en la parte superior porque es donde trabaja más la madera y donde, por lo tanto, deberá ésta tener mayor sección.

El ajuste entre las cuatro piezas del marco se obtiene, á veces, labrando á media madera los extremos de la cumbrera para que descanse sobre los peones, ó bien á media madera los extremos de los peones para recibir la cumbrera, pero lo más común es el ajuste llamado de *trasdós* en que se labran á media madera tanto los peones como la cumbrera.

En los pozos, la colocación de los marcos es de mucho mayor compromiso porque se necesita un ajuste perfecto contra las paredes del pozo, para que no se nos caiga el marco hasta la caldera.

Se empieza colocando en su lugar ambas maes-

tras y luego se introducen á golpe de maza cada uno de los cruceros, y si hubiere lugar las tornapuntas ó cruceros interiores que han de reforzar las maestras; luego se acuñan los cuatro lados con cuñas de madera ó piedras, pero preferentemente con aquéllas, y, por fin, se colocan los distintos pies derechos que han de unir este cuadro con el anterior. Los largueros de consolidación de varios marcos se colocan cuando hay todos los marcos que han de ser interesados por ellos; y, generalmente, se ponen escalonados, esto es, de manera que no todos terminen en un mismo marco.

Por otra parte, como que esta disposición haría depender, caso que fallara la acuñación contra las paredes, todo el peso de la entibación del cuadro colocado en el brocal del pozo, se toma la precaución de colocar de cuando en cuando marcos cuyas maestras penetran en las paredes del pozo, y queda, por lo tanto, dividida así la entibación en una serie de secciones casi independientes ó independientes del todo, unas de otras.

Mamposteado

El mamposteado es el más racional de los sistemas de fortificación de las excavaciones; pero lo cara que resulta esta protección obliga á limitarla á los solos casos en que se hace indispensables, ó en aquellos en que son de temer incendios.

No necesitaremos mucho espacio para desarrollar su descripción, pues se procede al igual que en las construcciones de la superficie.

Las galerías se revisten en aparejo de cañón seguido, si lo han de ser en todas sus paredes. Pero en los casos en que sólo deba protegerse una parte de ellas se da al revestimiento las más variadas disposiciones, pero siempre con la mira de que el material trabaje en las condiciones más favorables.

Cuando las presiones que deben resistirse son verticales y de arriba abajo, puede construirse el revestimiento *en seco,* esto es, sin ningún material que una y trabe los materiales pétreos por que está constituído; mas en los casos en que los esfuerzos se apartan de la vertical descendente, se deberá construir *trabando* los materiales. Ha de observarse que el trabajo en seco se utiliza siempre que es posible, por cuanto es más económico que el otro, si bien éste es de mayor duración.

Además de la mampostería se emplea para la fortificación el ladrillo, pero su empleo resulta todavía más caro que el de la mampostería trabada; por ello es que sólo se emplea en los casos en que se tenga que construir una protección cuidada; así, por ejemplo, en las galerías se suelen construir los muros con mampostería trabada, y la bóveda de ladrillo. También, á veces, se emplea un sistema mixto por arcadas, construyendo arcos de mampostería alternados con otros de ladrillo, pero su resultado es defectuoso. Asimismo sería defectuoso construir uno de los muros con mampostería y el otro con ladrillo, por cuanto podría dar lugar á movimientos descendentes desiguales de la bóveda que en último resultado acarrearían, en época más ó menos lejana, su destrucción.

Se comprende que la clave de las bóvedas no podrá colocarse al igual que en las construcciones de la superficie, puesto que aquí hay el techo de la galería que lo impide; pero se logra fácilmente poniéndola por el frente de la porción de bóveda en construcción, deslizándola horizontalmente hasta tenerla en su sitio. También se ha de procurar, y valga ya la advertencia para los demás casos análogos, que no queden huecos entre el revestimiento y el terreno, tomando la precaución de rellenarlo con menudillo ó tierra, bien atacada, para que el contacto sea perfecto, no empleando en ningún caso madera nueva ni usada, antes al contrario, se sacará completamente toda la que sirvió para el entibado provisional, pues á la larga se pudriría y se producirían los huecos que se habían querido evitar.

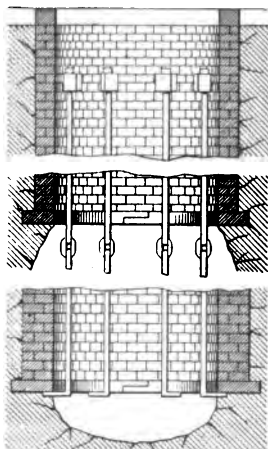


Fig. 71

Finalmente, no construiremos bóveda ninguna sobre la roca de caja por un lado y un muro artificial por el otro, aunque una de las paredes de la galería se presentase en inmejorables condiciones de solidez, porque sería su ruina casi indefectible.

Los pozos que han de ser mamposteados se perforan casi siempre de sección circular ó elíptica, pues

son las que presentan mejores condiciones para resistir las presiones laterales desarrolladas por las paredes.

El aparejamiento del revestimiento de los pozos se logra ya por hiladas horizontales (fig. 71) ya por hiladas en hélice, dando al paso de la hélice un valor equivalente al grueso de un ladrillo más la capa de mortero empleado para su trabazón.

Se comprende también que no podrá efectuarse este revestimiento sin que descanse por secciones independientes en el terreno ó paredes del pozo, pues no habría material capaz de resistir el peso que supondría un cilindro vertical de varios centenares de metros de altura. Por ello es que, en primer lugar, se rellenan bien los huecos que pudiesen quedar entre la obra artificial y la pared natural del pozo, y, en segundo lugar, se construyen, por la parte exterior del cilindro de mampostería, unos rehenchimientos en forma de dos conos unidos por sus bases (fig. 72), que penetran en el terreno de caja. De esta manera, en caso de quebrarse el cañón del pozo por debajo del rehenchimiento, quedaría sostenida toda la porción superior, y si se quebrase por encima quedaría sostenida toda la porción inferior.

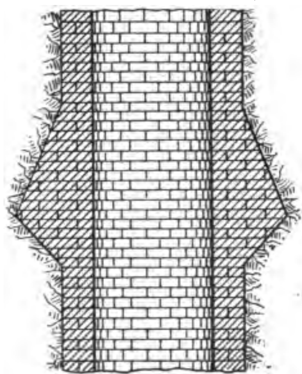


Fig. 72

También, en vez de estas precauciones, se toma la de colocar en una misma horizontal fuertes vigas de hierro empotradas en el terreno, y sobre ellas se dispone un marco ó rodete de madera ó hierro y sobre éste se apoya la mampostería ó enladrillado.

La mampostería trabada es poco empleada en la protección de pozos, y todavía lo es menos la colocada en seco.

Blindaje

El blindaje va substituyendo rápidamente la entibación en los lugares en que escasea la madera, ó en que el hierro resulta barato. Tiene la ventaja sobre la madera de que es mucho más duradero, ocupa menos espacio para igual resistencia, y es de más fácil y rápida colocación. Además, aunque se tenga que cambiar una fortificación metálica, los desechos siempre conservan un valor de consideración por el solo motivo de ser metálicos, y si en vez de hierro dulce se emplea fundición se obtiene también la ventaja de poderle dar por el moldeo la forma que nos convenga.

Para las galerías, la más sencilla forma de revestimiento metálico es la suministrada por una vigueta en forma de *T* doblada, de manera que nos quede un arco de medio punto sostenido por dos pies derechos, á estilo de *portada*. Con ello se obtiene una sección que es muy conveniente para facilitar la circulación de personal y caballerías. Pero otras veces se adoptan disposiciones menos sencillas con objeto de vencer condiciones especiales del hueco que se desea fortificar.

También mencionaremos dos casos de fortificación mixta. En la una se asocia el hierro con la madera, haciendo descansar una vigueta de hierro ó trozo de rail viejo sobre dos peones de madera; y en la otra se asocia el hierro con la mampostería, apoyando la vigueta ó rail dichos sobre dos muros ó pilares de mampostería.

El blindaje de pozos se obtiene ya por medio de anillos completos, ya por medio de un revestimiento con dovelas metálicas. En el primer caso, se tendrá que principiar la protección por la parte inferior del pozo para no perder diámetro, puesto que si se comenzara por la región próxima á la superficie, no podrían pasar los aros inferiores á no ser que éstos fuesen de menor diámetro, con lo cual condenaríamos el pozo á una disminución de diámetro que llegaría á cegarlo por completo á una profundidad no muy grande.

Es más corriente emplear el blindaje por medio de dovelas metálicas, porque así podemos conservar constante el diámetro del pozo, tanto si se principia inferior como superiormente. Consiste, como ya se habrá comprendido, en una serie de bloques de fundición, descargados en lo que las presiones que ha de resistir este blindaje permitan, que se aparejan al igual que las dovelas de piedra en los trabajos corrientes de la superficie, esto es, por hiladas horizontales, é interrumpiendo las juntas verticales. Cada determinado número de ellas completan una hilada, pero no de una manera exacta sino dejando entre cada dos de ellas un espacio suficiente para introducir en él ya caucho, ya plomo, pero espe-

cialmente este último, porque no está tan expuesto como el primero á la alteración que ya naturalmente sufre toda materia orgánica.

Esta precaución, que también se adopta entre los planos de junta de cada dos hiladas sucesivas tiene por objeto obtener una impermeabilidad absoluta del blindaje, con respecto á las aguas que pueden circular por alguna de las capas atravesadas por el pozo.

Respecto al modo de llevar á cabo estas obras, pasaremos por alto lo referente al blindaje con anillos enteros, por su analogía con lo que ya se indicó al tratar de los sondeos en el capítulo III, y empezaremos inmediatamente la descripción de la colocación en obra del sistema por dovelaje.

Suponiendo, como es corriente, que ya en el mismo taller en que han sido fundidas las dovelas se han sometido á la prueba de la presión que pueden resistir, la cual no ha de ser menor del doble del que se supone que probablemente sufrirán una vez en obra, se principia bajando, hasta el nivel en que ha de dar principio el encubado, las varias dovelas que han de constituír uno de los anillos, y se van atornillando unas á otras intercalando entre ellas las láminas de plomo, antes citadas para lograr su impermeabilidad, hasta completar el anillo, el cual se levanta luego un poco con la grúa instalada en la boca del pozo para permitir la colocación de la lámina de plomo correspondiente á la junta horizontal entre este anillo y el inmediatamente inferior, y luego se deja bajar suavemente el anillo hasta que quede asentado en su lugar.

Es evidente que si todos los anillos fuesen exactamente iguales, no lograríamos repartir el peso del cubelaje en varias porciones independientes entre sí, cual se ha indicado al tratar del mamposteado de los pozos. Por ello es que, análogamente á lo allí hecho, se colocarán series de dos ó tres anillos especiales cuyas dovelas, de mayor profundidad que las de los anillos corrientes, permitan acuñarlas fuertemente contra las paredes del pozo, por medio de cuñas de madera. Estos anillos de asiento, siempre que el terreno lo permita, se apoyan por el intermedio de un marco ó anillo de madera, sobre la roca de caja, la cual ya se habrá labrado con este fin en forma de banqueta. Y ahora, siendo distintos los diámetros exteriores, se rellena con hormigón más ó menos hidráulico, ó bien con betún si el terreno es muy acuífero, para lograr el contacto completo entre el metal y la caja de roca, y evitar las posibilidades de ruina de la construcción por eventuales movimientos del terreno, como se ha indicado antes.

También se han construído pies derechos en forma de columnas, de fundición, para sostener determinados puntos de la mina ó excavación, tales como las cámaras de arranque; pero puede casi decirse que su uso no se ha generalizado ni en los sitios en que escasea la madera. Estas columnas se construían de dos piezas para facilitar su colocación en obra, y, una vez en ella, se solidaban una á otra por medio de una brida corredera especial.

II

PERFORACIÓN DE LAS GALERÍAS Y POZOS

Vistos los métodos de arranque ó derribo de la roca y los medios de que podemos valernos para conservar el hueco, á pesar de las presiones desarrolladas sobre las paredes por los terrenos vecinos, con objeto de restablecer el equilibrio roto al suprimir las fuerzas correspondientes á la roca que antes llenaba la excavación, poco podríamos decir respecto á la perforación de las galerías y pozos si no fuese la descripción de algunos métodos especiales ideados para vencer dificultades que durante mucho tiempo se consideraron como insuperables. Se refieren estos métodos á los casos en que la excavación ha de abrirse en terrenos sueltos, en terrenos muy sueltos y en terrenos muy acuíferos.

Cuando se trata de abrir en esta clase de terrenos una galería, se procede como indica Malo de Molina en los términos siguientes:

«Hasta aquí hemos supuesto implícitamente que la fortificación se ha ejecutado después de abierta la galería, lo cual supone que posee un cierto grado de resistencia que le permite sostenerse por sí misma hasta que quede construída la entibación. Si esto no fuera así, sino que, por el contrario, el terreno exigiera que la fortificación no sólo siguiese inmediatamente á la formación del hueco, sino

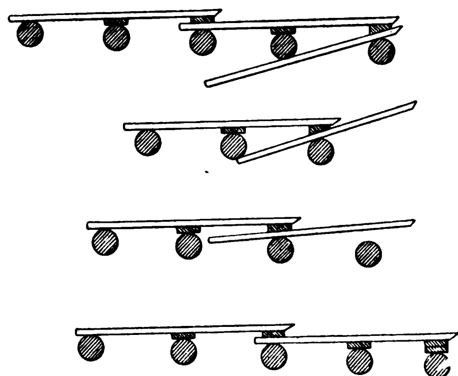
que, por decirlo así, la precediera, entonces hay que abrir y fortificar simultáneamente, empleando el método de *labor de avance ó de franqueo.*

»Este método tiene dos variantes según sea la naturaleza del terreno que se ha de excavar. Así es que si se trata de atravesar un terreno compuesto de cantos ó bloques sueltos, aglomerados simplemente unos sobre otros, de tal modo que al remover uno de ellos se produce la caída y movimiento de los que sobre él se apoyan, cual sucede en los frecuentísimos casos en que se han de atravesar hundimientos acaecidos en grandes extensiones, se empleará el método de *portadas unidas,* ó sea el método de Altemberg; si el terreno en que se ha de abrir la excavación está, por el contrario, formado de pedazos de roca muy pequeños cual sucede en un ativado, atracado ó relleno [1], ó más menudos todavía, como son los granos de una arena más ó menos grosera, ó completamente finos y sueltos como los de una capa acuífera de arena,. entonces se empleará el método de Silesia.

»El primero, ó sea el de Altemberg, consiste en armar una primera portada en la dirección que ha de tener la galería, en hacer el hueco que ha de ocupar la capa, presentándola después en su lugar y sosteniéndola por medio de dos puntales que apoyan en los extremos de la capa de la portada anterior, y de otro puntal largo que, afirmando su culata en sitio á propósito, apoya su cabeza en el centro de la portada que se coloca. Se excava en

(1) Véase el capítulo en que se describen los métodos de beneficio.

seguida el hueco para uno de los peones, preparando su huída; se coloca inmediatamente y se le ajusta con la capa; de igual modo se coloca el otro peón, y así queda armada la segunda portada. Se arma después la tercera, apoyándose en la segunda, y así se continúa mientras sea necesario.



Figs. 73, 74, 75 y 76

»El método silesiano se dispone en relación con la flojedad del terreno, de uno ú otro modo, según se presente ésta en el cielo solamente, en éste y en los costados, ó en todas cuatro caras á un tiempo.

»Si sólo es el techo ó cielo el que se presenta flojo é inconsistente, entonces se empieza por colocar en la dirección deseada un rollizo en forma de puente ó de estemple adintelado, según convenga (figs. 73, 74, 75 y 76); se introduce por entre él y la roca á golpes de maza una encamación formada por tablas, medios rollizos ó rollizos enteros, según sean las presiones del terreno y la poca cohesión de la

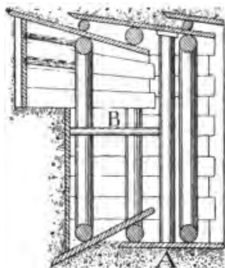
roca; se excava por debajo de la encamación y se continúa haciendo penetrar á ésta hasta que ya se ha logrado un hueco que permite la colocación, á distancia conveniente del primero, de un segundo puente ó estemple; se continúa haciendo avanzar la encamación, que ya tiene dos puntos de apoyo, á fuerza de golpes, y cuando se ha logrado hueco bastante, se coloca el tercer estemple, con lo cual queda armado el primer trozo, toda vez que las maderas de la encamación no permiten la colocación de un nuevo estemple porque no tienen bastante longitud para ello. El segundo y tercer estemple que hemos colocado, los hemos puesto un poco más altos que el primero, ó hemos interpuesto una cuña simple entre el segundo y la encamación y una doble cuña entre el tercero y la misma, á fin de que la madera de ésta se coloque algo inclinada hacia arriba por delante, para que al terminar el trozo quede ella algo levantada por su extremo delantero, y los estemples formen un cielo de excavación próximamente paralelo al piso de la misma.

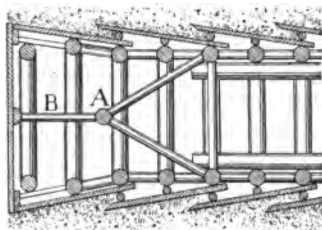
»Las maderas que forman esta encamación no tienen mayor longitud de 1'70 metros, y su punta, si son rollizos, es afilada, á fin de que puedan penetrar con más facilidad en el terreno, y no aguda, sino redonda, para evitar se rompa al tropezar y ladear los bloques grandes que á su paso se presenten.

»Para armar el segundo trozo de fortificación se puede adoptar uno de los dos procedimientos siguientes, en relación con el que se haya seguido para colocar el segundo y tercer estemple.

»Si éstos se pusieron al mismo nivel que el pri-

mero y la inclinación de la encamación se obtuvo por medio de las cuñas interpuestas, entonces se quita una de las cuñas del tercer estemple, y en su lugar se introduce la cabeza de otra tabla, costilla, etc., que á fuerza de golpes se hace avanzar, hasta que ha penetrado en el terreno la cantidad posible; se excava por debajo de ella, se coloca el nuevo puente sobre el que se coloca la correspondiente cuña, é imprimiendo un movimiento oscilatorio de báscula á la tabla, baja ésta á descansar sobre ella; se continúa la introducción á golpe, de nuevo se excava bajo ella, y, cuando ya hay lugar bastante, se coloca el tercer estemple con la doble cuña, continuando así en los trozos sucesivos de esta labor de franqueo.





Figs. 77 y 78

»Si el segundo y el tercer estemple no se colocan al nivel del primero, entonces se introducen las costillas por entre el primer puente y la roca, haciéndolas avanzar cuanto sea posible; se coloca el segundo estemple unos 15, 20 ó 25 centímetros más alto que el primero, y las tablas se apoyan sobre él; á igual distancia se pone un tercer puente más delgado que

los anteriores, levantando otros 15, 20 ó 25 centímetros sobre el segundo, y con ello queda armado el primer trozo de fortificaciones. El segundo trozo se arma colocando un primer puente debajo del tercero anterior, y tan próximo á él que sólo quepan por entre ambos las costillas: sobre él se repite lo hecho en el primer trozo.»

»Si en vez de ser sólo el cielo el que se presenta derrumbado ó inconsistente, fuesen costados, cielo y piso los que hubiera que franquear ó sostener, entonces el estemple adintelado se substituye por un cuadro completo y se forman dos encamaciones, una en el cielo y otra en el piso, y dos encostillados en los costados, procediendo del mismo modo que hemos dicho para el del cielo solamente. Así se formará un *encofrado* completo formado por trozos de pirámide (figs. 77 y 78) enchufados unos en otros, y cuya base mayor la tienen todos hacia adelante.

»De este modo se aseguran todas las partes de la galería, excepto el frente, el cual habrá de ser también fortificado de un modo adecuado para evitar las avenidas de roca suelta que por él tendrían lugar, si no se les opusiese el dique necesario. Del mismo modo, necesario será guarnecer este frente con un encostillado unido é impermeable á la filtración de las arenas sueltas ó movedizas, si ésta es la clase de terreno que atravesamos, y avanzar en este sentido, en análoga forma y en semejante disposición al avance que se hace en cualquiera de los otros planos ó caras del trozo de pirámide que se excava.

»El avance en este frente se consigue procediendo del modo siguiente: Se atraviesan horizontalmente en el frente de la galería tablones contiguos (fig. 77) unos á otros formando un tablero compuesto de partes sueltas, no enlazadas, pero bien unidas para evitar los escapes ó filtraciones de arenas por las juntas ó por las uniones con las caras laterales del tronco de pirámide, cuya base forma el indicado tablero. Estos tableros hay que sostenerlos en su situación por medio de contrapuntas que apoyan uno de sus extremos en ellos mismos, y otro en los peones del último cuadro.

»Armado así este tablero, llamado *escudo,* se trata ahora de hacerle avanzar, y para ello se cogen otras contrapuntas más largas que las colocadas y á fuerza de mazo se afirman en uno solo de los varios tablones del escudo; es claro que la mayor longitud de estas contrapuntas empujará hacia adelante paralelamente á sí mismo á todo el tablón, haciéndole repeler á la roca que por detrás de él hay; se repite esto mismo en todos los demás y se habrá así hecho avanzar á todo el escudo un cierto espacio; se vuelve á repetir esto con nuevas contrapuntas cuantas veces sea posible, y cuando ya sea tanta la compresión de la roca que no se pueda hacerla avanzar más, entonces se levanta un tablón por completo, ó en la cantidad necesaria nada más, y se excava la roca para anular el efecto de compresión causado y dar lugar á la salida de una cantidad mayor ó menor de ella, pero suficiente para restablecer la desagregación y fluidez que ha de permitir el ulterior avance del escudo; éste se consigue volviendo á colocar el

tablón en su sitio y procediendo de nuevo según acabamos de decir.

»La separación del tablón y la llamada de las arenas es una operación delicadísima que exige mucha práctica y una excesiva prudencia, pues si llegara á iniciarse un movimiento de irrupción en toda la masa próxima, sería irresistible su avenida y se correría gravísimo peligro de ver cegado todo lo que á costa de tanto trabajo se conquistó.»

«Si la fluidez de las arenas es tanta que hace imposible ó, por lo menos, muy penoso y difícil el avance del escudo y del encofrado, se dispone una consolidación del terreno por medio de cuñas ó piquetes cónicos que se hacen penetrar en las arenas á fuerza de maza, enteramente análoga á la consolidación que se obtiene por el hundimiento ó clavado de pilotes en un terreno flojo que ha de servir á la cimentación de una obra exterior á la superficie del suelo. Si estos piquetes ofrecen demasiada resistencia á la fuerza que corresponde á la maza manejada por un hombre, se hunden entonces con auxilio de un ariete formado por una viga que se suspende horizontalmente de un marco ó portada auxiliar.

»Cuando ya queda el terreno tan comprimido que no es posible hacer penetrar más á estos piquetes, se abren en ellos entonces con una barrena uno ó más agujeros que dan salida á la cantidad conveniente de arenas, y que se tapan fácilmente en el momento oportuno con un tapón á fuerza de mazo, ó bien se sacan uno ó dos piquetes, para que por este hueco salga la arena, y después se vuelven

á colocar. Un escudo ó tablero sostiene la cabeza de los piquetes contra el próximo cuadro para que no sean despedidos por el empuje del terreno.»

La fortificación de pozos en esta clase de terrenos puede obtenerse de análoga manera á la que se acaba de transcribir para las galerías; pero puede también seguirse el procedimiento de Poestch, si el terreno que ha de atravesarse es una capa acuífera de grano fino muy movible. Lo describe así el Sr. Malo de Molina:

«Este método está fundado en la congelación del agua, que de esté modo transforma en bloque sólido la capa líquida, permitiendo su arranque y extracción como si fuera una roca dura y coherente.

»Esta congelación se ha de producir con auxilio de una máquina frigorífica que produzca el descenso de temperatura y de un líquido que se encargue de llevar este frío al agua subterránea......que es una disolución en agua á 21° Beaumé de cloruro magnésico, ó una disolución acuosa á 40° Beaumé de cloruro cálcico, cuyos líquidos se congelan á —40° centígrado, y se enfrían en la máquina hasta sólo —25° centígrado.

«De modo que si se sumergen tubos en el agua subterránea y por ellos se hace circular este líquido refrigerante, el agua se enfriará y congelará...»

Los tubos parten todos verticalmente y hacia abajo de un armazón común, y son de doble pared para que se verifique la circulación del líquido refrigerante; y «se han de colocar, no según el perí-

metro interior de la sección del pozo; porque si así se hiciera estorbarían después mucho para el trabajo de perforación y revestimiento, y porque congelan por completo la roca y agua que se han de arrancar y extraer, y esto no es lo más conveniente. Por lo tanto, lo mejor es colocarlos, según una línea de contorno paralela al perímetro interior de la sección del pozo, que diste de él o'5o á 1 metro».

«La congelación del agua se extiende á mayor ó menor distancia de cada uno de los tubos, según sea mayor ó menor la duración de la operación. Por medio de ligeros barrenos abiertos en la masa del terreno se aprecia la extensión de la zona helada, y cuando se juzga que ya mide este bloque de hielo el espesor necesario para impedir las filtraciones del agua posterior, y para resistir á las presiones que sobre él han de obrar en cuanto se comience la excavación del pozo, se da por terminada la operación, limitándose desde aquel momento á sostener la baja temperatura para evitar el deshielo.»

«Es evidente que si el agua subterránea no está en reposo, se tardará mucho más tiempo en congelarla, toda vez que hay renovación constante del agua ya fría por otra más caliente.»

Finalmente, el procedimiento ideado por Chaudrón consiste en bajar un entubado metálico que comprenda toda la potencia de la capa acuífera, ajustándolo perfectamente con los terrenos normales superior é inferior para que haya completa

impermeabilidad. Naturalmente, esto que dejamos apuntado supone que se ha perforado previamente el pozo, lo cual se logra utilizando alguno de los procedimientos de sondeo, con sonda de gran diámetro.

CAPÍTULO VI

TRANSPORTE Y EXTRACCIÓN

Con las múltiples y variadas excavaciones que constituyen lo que podríamos llamar topografía interior de una mina, pueden formarse tres grupos; esto es, se tienen vías para comunicar el interior con la superficie, vías para conducir, desde las anteriores, á las distintas secciones ó distritos en que se ha dividido la mina, y vías para ir propiamente en busca del mineral. Las primeras son las vías maestras (galería, traviesa ó pozo maestro), las segundas, las vías principales ó de comunicación, y las terceras las secundarias.

El mineral arrancado ha de trasladarse hasta la superficie, y para ello debe transportarse, por unos ú otros medios, por las vías labradas en la explotación hasta alcanzar la boca del pozo maestro ó la boca de la galería traviesa ó principal. En este traslado recorrerá, pues, tres clases de caminos, los cuales son lo bastante diferentes uno de otro para que el transporte se efectúe en condiciones distin-

tas. Por ello es que dividiremos este capítulo en tres apartados distintos, á saber:

1.° Transporte desde la cantera á las galerías principales ó longitudinales;

2.° Transporte por las galerías principales;

3.° Extracción por el pozo maestro;

y observaremos que en este tercer punto sólo trataremos de la extracción por el pozo maestro, por cuanto siendo el transporte por la galería traviesa principal exactamente igual al que se efectúa por las galerías de comunicación, ó á lo sumo con medios más perfeccionados, no hay necesidad de describirlo separadamente.

I

ACARREO DESDE LA CANTERA Á LA GALERÍA DE TRANSPORTE

Las condiciones en que habrá de efectuarse el transporte por las vías secundarias de la explotación, ó sea por aquellas que se labraron persiguiendo el arranque de las materias útiles que el yacimiento encierra, han de ser en extremo penosas y difíciles por las desigualdades del suelo y por las reducidas dimensiones, direcciones tortuosas é inclinaciones exageradas que presentan. El minero, en el arranque, no se preocupa de cómo queda el piso, y sí sólo de lograr un destajo remunerador y una abertura suficiente para ir siempre adelante, entibando, esto sí, para seguridad suya y de sus compañeros.

En estas vías, pues, serán en extremo raros los casos en que pueda efectuarse el transporte por medios distintos de los que resulten del trabajo personal del hombre; así éste es quien carga directamente los bloques de mineral ó de roca que han de ser extraídos, ó el menudo convenientemente colocado en espuertas de palma ó en cestos de mimbre ó en sacos ó en cajas.

Para este transporte, dadas las reducidas dimensiones de las galerías de arranque, es costumbre bastante general emplear muchachos, y más raras veces hombres, pues que éstos deberían efectuar el trabajo caminando encorvados, para no dar con la cabeza contra el techo de la galería. Verdad es, por otra parte, que el trabajo de los hombres resulta más remunerador, esto es, más económico; pero hay que tener en cuenta que, generalmente, en las minas se hace el trabajo como se puede y no como se quiere.

La materia que se transporta no se sostiene con las manos, pues que éstas las necesita el obrero, ya para llevar la lámpara, ya para sostenerse en un piso de tan malas condiciones como el de estas vías secundarias. Cuando son mujeres las que transportan el mineral, cosa muy rara en España, suelen poner la carga, que no puede ser grande, sobre la cabeza, y cuando son niños ú hombres suelen sujetarla al cuerpo, en una ú otra disposición, según las regiones, por medio de correas ó cuerdas. Así y todo, la inclinación de las galerías

no puede ser grande para que el obrero conserve en cada momento la libertad de movimientos que exige la conservación del equilibrio; de ahí vinieron las *cadenas* ó *gavias,* que, poco usadas hoy, consisten en colocarse los obreros en toda la longitud que ha de salvar el mineral, á poca distancia unos de otros y en sitio fijo, pasándose de mano en mano la carga, desde el primero que la toma en el pie de la cantera, hasta el último que la deja en la galería principal ó sitio designado. Hoy es más usual, en los casos de gran pendiente, esto es, en inclinaciones mayores de 20° á 45°, disponer á lo largo de la galería secundaria una cuerda que sirve de pasamano para que el operario, al subir de vacío, no se fatigue excesivamente, ó se sostenga al bajar cargado.

Se comprende, por lo demás, que si tan penoso es el camino no podrá asignarse un recorrido demasiado largo á cada operario. Como carga normalmente llevadera por el hombre, suele asignarse la que supone un peso igual á los $^3/_4$ del del porteador, y como distancia á recorrer no es conveniente señalar más de unos 60 á 80 metros. Si fuese mayor, es de rigor establecer relevos, esto es, dividir la distancia en dos ó más porciones menores de la distancia dicha, y en cada fin de sección el operario se descarga y vuelve de vacío al punto en que ha tomado la carga, encargándose de la que él ha dejado el primer operario de la sección siguiente que llegue al lugar en que se ha depositado. Puede reprocharse á este sistema la fatiga y pérdida de tiempo que suponen tanta carga y descarga; pero

en cambio los obreros no verifican trabajos que agoten sus fuerzas de una sola vez, sino que pueden descansar igual tiempo que el que están trabajando.

Cuando las condiciones del piso lo permiten, y con objeto de acrecentar el rendimiento, se usan vasijas que, una vez llenas, se arrastran por el suelo ó se hacen correr sobre ruedas. La *narria* y hasta las simples cajas son los tipos de las primeras. La narria es sencillamente una vasija metálica, provista de dos asas, que puede hacerse deslizar por el suelo gracias á dos patines, á manera de piernas de mecedora, de que está dotada; en una de las asas se ata una cuerda, que es de la que el operario tira, con lo cual éste, por su tracción hacia lo alto, disminuye en gran parte el roce contra el suelo, que de otra manera fuera mucho mayor. Las *carretillas,* que pertenecen á las segundas, no necesitan ni siquiera descripción, pues todos sabemos que son cajas de poca capacidad, pero mayor que la de las narrias, llevadas sobre una rueda por el empuje ó la tracción que el hombre ejerce sobre dos varas solidarias con la caja. Los *carretoncitos,* que también son usados, van montados sobre dos ruedas.

Aquí se ha de repetir también lo dicho antes, de que si la distancia que debe recorrerse es demasiado grande, es necesario disponer relevos; y observaremos que siempre que éstos deban establecerse, es condición conveniente, si no indispensable, de que esté el trabajo organizado de tal modo que, siempre que un operario llegue al término de su carrera, llegue también por la parte opuesta otro en disposición de tomar su carga ó su vehículo.

Son á veces tan inclinadas las galerías secundarias que pueden considerarse como verdaderos pozos inclinados. Y no siendo posible efectuar por ellas el transporte tal como hasta aquí se ha descrito, es necesario verificarlo de otro modo.

Cuando el desmenuzamiento del mineral no supone su depreciación en el mercado, ó cuando es tan duro que no es de temer que se rompa fácilmente por el choque, lo más sencillo es despeñar el mineral desde lo alto de la galería para que llegue sin más auxilio hasta la parte inferior; y si se producen obstrucciones se hurga en ellas por medio de largos garfios, para que se deshagan. Pero si el mineral es excesivamente quebradizo ó si se presume que el pozo ha de ser utilizado largo tiempo, quizás será más conveniente establecer planos inclinados sencillos, análogos á los que describiremos dentro de poco.

II

TRANSPORTE POR LAS VÍAS PRINCIPALES

Aumenta en ellas la importancia del servicio de transporte desde el momento que á ellas afluyen los productos procedentes de varias canteras. No bastarán, por lo tanto, los rudimentarios medios acabados de describir, sino que deberán ser mejorados, y, en ocasiones, disponer instalaciones que reúnan las condiciones de solidez y economía necesarias.

Transporte por caballerías

Si la cuantía del transporte no exige medios de gran vuelo ya por ser pobres los frentes en aquella sección explotados, ó ya por existir sólo en corto número, habrá suficiente con hacer el transporte por medio de caballerías ó con perfeccionar las condiciones de los vehículos y las del piso; las de aquéllos, construyéndolos de mayores dimensiones y del tipo llamado de volquete, si es que al fin de esta galería han de ser llenadas por la boca las vasijas que han de subir el mineral hasta la superficie, y las de éste, disponiendo una cinta de baldosas ó simplemente de tablones para que las ruedas de los carruajes puedan correr con facilidad y rápidamente sobre ellas.

Por su parte, el transporte por medio de caballerías supone á veces inconvenientes que le hacen bastante difícil. Ante todo, dada la talla de algunas de ellas no será posible emplearlas en este servicio, porque quizás en algunos puntos tropezaría su cabeza con las anfractuosidades del techo. Se deberán, pues, emplear caballos ó mulos pequeños, ó bien asnos. Por otra parte, este sistema exige introducir y sacar diariamente las caballerías de la mina, ó bien disponer en su interior cuadras á propósito en que puedan disfrutar del descanso que la reparación de sus fuerzas exige. Y, por fin, y esto es quizás el más grave inconveniente, llevando la caballería la carga sobre su lomo, pide que la galería á esta distancia del suelo presente una anchura suficiente, y aun más si han de cruzarse dos de ellas por el camino, y ya hemos visto que la sección de

las galerías tiende á favorecer su mayor estabilidad con la anchura máxima en la parte baja.

Pero si las vías generales han de tener gran movimiento, es preferible entonces disponer una vía férrea por la cual puedan circular vagonetas, ó trenes de ellas, de los sistemas más perfeccionados.

Vía

La vía es estrecha y de lo más sencillo, y suele construirse con materiales fácilmente transportables para que una vez ha terminado su utilidad en un sitio, pueda ser montada en otro; el sistema Decanville y análagos son los más empleados. Sus curvas podrán ser rápidas desde el momento que los trenes que por ellas han de circular son arrastrados por hombres ó caballerías, y, por lo tanto, no es de temer que la velocidad los haga descarrilar en ellas; y si en algún sitio se considera indispensable la instalación de una placa giratoria, se escogerá ésta del sistema más sencillo y más robusto, y aun se suprimirá, si es posible, colocando simplemente una placa de hierro fundido con curvas de entrada en las vías que por intermedio de ella se hacen comunicar. También han de ser muy sencillas las bifurcaciones y desvíos que se haga necesario disponer.

Material móvil

De igual manera que no entramos en detalles respecto á la vía, tampoco nos extenderemos describiendo los múltiples sistemas de vagonetas y plataformas como han llegado á proponerse; pero no dejaremos de recomendar que se tenga muy

en cuenta que las condiciones del acarreo minero son muy distintas de las del acarreo en la superficie; para éste podrán utilizarse muchos mecanismos y detalles que redundarán en beneficio de la duración del material y economía del transporte; para aquél escogeremos, ante todo, lo más sólido y menos complicado, porque los choques, sacudidas y tosco manejo á que está expuesto, implican una vida excesivamente corta de esta clase de material.

Se emplearán vagonetas sencillas ó vagonetas con volquete de frente, ó por uno de los lados ó por ambos á la vez, según sean las condiciones del trabajo que han de desempeñar.

En algunas minas se han instalado vías monorrails aéreas, pero se ve inmediatamente el inconveniente que presentan de exigir una gran sección en la región superior de la galería. Y, además, como que las vagonetas, ó trenes de ellas, son arrastrados mediante una cuerda por el esfuerzo del hombre, y más comúnmente por el de caballerías, adquieren las vagonetas suspendidas un movimiento de balanceo que, si bien no perjudica al equilibrio del sistema, supone una pérdida de energía y exige todavía mayor sección de la que fuera necesario, aumentándose consiguientemente el coste de la mano de obra cuando se perfora la galería, y los gastos de construcción y de conservación de un entibado que, necesariamente, ha de ser más sólido.

Arrastre mecánico

Terminaremos estas ligeras ideas de transporte por carriles, mentando que el arrastre

puede también hacerse mediante el esfuerzo del vapor, del aire comprimido y de la electricidad; pero que sólo estas dos últimas pueden considerarse suficientemente prácticas, pues presenta el vapor algunos inconvenientes difíciles de vencer. La aplicación de la electricidad suele hacerse mediante cables aéreos por los cuales resbala un *trolley* que conduce la energía á la vagoneta motriz; y la del aire á presión, mediante pequeñas locomotoras movidas por el aire comprimido.

Planos inclinados

El transporte por carriles dejará de ser aplicable en cuanto las vagonetas tiendan á correr por sí solas, sin necesidad de tracción ó de impulsión, por la vía. En cuanto la inclinación pase de cierto límite, será indipensable atar las vagonetas al extremo de un cable y desde la parte alta de la galería aflojar éste ó tirar de él, según que el vehículo deba bajar ó subir la pendiente; de otra manera, la vagoneta se precipitaría con velocidad creciente por la pendiente abajo yéndose á estrellar contra el primer obstáculo que se opusiera á su camino.

El transporte así gobernado constituye el llamado por plano inclinado.

Un plano inclinado consiste en una doble vía férrea afirmada en el suelo de la galería en toda la longitud de la pendiente que ha de salvarse, y de un cable que, pasando por la garganta de una polea montada en la parte superior del plano inclinado, tiene igual longitud que éste, y, por lo tanto,

cuando uno de sus extremos está arriba, el otro está abajo. En estos extremos se colocan las vagonetas cargadas ó vacías que han de transportarse. Otras veces el cable es de los llamados sin fin, ó continuos, y tiene entonces longitud doble de la propia del plano inclinado: en cuyo caso, las vagonetas, cargadas ó vacías, se amarran á cualquier punto de él.

Los planos inclinados pueden ser ascendentes ó descendentes; automotores ó no; de simples ó de doble efecto.

Son *ascendentes*, cuando las cargas han de ser transportadas desde su parte inferior á la superior, y *descendentes*, cuando al contrario ha de ser bajada por él. Son *automotores*, cuando no es necesario aplicarles energía, sino que el trabajo desarrollado por las vagonetas cargadas que bajan es suficiente para subir otra vez el material vacío y para contrarrestar las resistencias pasivas del sistema. Los planos automotores son de *simple efecto* cuando al bajar el vagón cargado éste hace subir un contrapeso que será, evidentemente, de peso menor que el total de vagoneta y carga; y una vez la carga en la parte inferior, se cambia la vagoneta llena por otra vacía que es subida por el esfuerzo del contrapeso al resbalar hacia abajo, por lo cual, evidentemente, ha de pesar más que la vagoneta vacía. De manera que su peso deberá ser mayor y menor, respectivamente, que los de una vagoneta vacía y de una cargada. En los planos inclinados de *doble efecto* queda suprimido este contrapeso,

porque las vagonetas cargadas suben ya directamente las vacías, con lo cual cada viaje equivale á dos viajes de los planos de simple efecto.

Disposición de la vía en un plano inclinado

La vía de los planos inclinados no es de necesidad que sea doble en toda la longitud del plano. Se observa, en efecto, que las vagonetas están siempre una en la mitad inferior y otra en la mitad superior del plano, salvo un momento en que se cruzan precisamente en el punto medio de su carrera; por lo tanto, será suficiente disponer una vía sencilla con apartadero en la mitad de su longitud, con los correspondientes desvíos. Á veces se construye vía sencilla sólo en la mitad inferior; y también en los planos inclinados de simple efecto, dando una conveniente forma al contrapeso para que no sea demasiado alto y pueda pasar fácilmente por debajo de la vagoneta en el momento en que se cruzan, puede instalarse una vía única, aunque esto es sólo aparente, por cuanto entre las vías por donde corre la vagoneta va instalada una vía más estrecha, montada sobre las mismas traviesas de la vía ancha, para que pueda correr el carrito que lleva el contrapeso. De todas maneras, la utilidad de este último sistema es innegable en aquellos casos en que por una ú otra circunstancia no pueda labrarse una galería de doble ancho. Para lograr más fácilmente que pase sin tropiezo el contrapeso por debajo de la vagoneta, suele levantarse en el punto de cruzamiento un poco la rasante de la vía

exterior sin modificar, ó bajando ligeramente la de la vía interior, para que haya mayor diferencia de nivel entre ambas en dicho punto.

También á veces puede instalarse una sola vía haciendo que el contrapeso penda libremente del extremo del cable y que pueda recorrer la profundidad de un pozo que deberá ser, naturalmente, tan profundo cuán largo sea el plano. No obstante, por alguna disposición mecánica capaz de producir la reducción del camino que ha de recorrer este contrapeso, será posible disminuir la profundidad del pozo, que, como se comprende, supondría un fuerte gasto de instalación si indefectiblemente debiera perforarse de igual longitud que el plano; es por demás decir que el peso del contrapeso deberá estar en razón inversa de la profundidad que se dé al pozo, para que se cumpla el principio de las fuerzas virtuales. En muchas instalaciones de este sistema por pozo, el cable del contrapeso es independiente del cable que sostiene la vagoneta y van arrollados en sentido contrario en la misma polea, ó en poleas también independientes, para que, al arrollarse ó desarrollarse el uno, se desarrolle ó arrolle el otro.

Polea de retorno

La polea en que se hace el cambio de dirección del cable puede ser de eje horizontal ó vertical, según los casos. Se empleará polea de eje horizontal cuando el plano sea de una sola vía en la parte superior, para que de esta manera las dos ramas del cable vengan prácticamente á colo-

carse en el centro de la vía; y cuando sea de doble vía en toda la longitud, sólo en la mitad superior deberá ser de eje vertical y de un diámetro igual á la distancia que separa á los ejes de las vías disminuídas del grueso del cable, con objeto de que cada una de las ramas venga á coincidir con el eje de la vía correspondiente.

Por lo demás, se han propuesto poleas de distintos sistemas según han sido los planos en que han debido instalarse. Debiendo ser mayor la adherencia entre la polea y el cable que la diferencia entre las fuerzas que tiran del cable por uno y otro extremos, pues de lo contrario la vagoneta cargada se precipitaría pendiente abajo, se han debido tomar precauciones para evitar estos percances que pudieran convertirse en catástrofes. La primera idea que se ocurre con este fin es aumentar el arco de contacto entre cable y polea, ya por medio de poleas guiadoras que le obliguen á abrazar más de la semicircunferencia, ya dando el cable varias vueltas á la polea; y, en segundo lugar, se ha acometido la construcción de poleas especiales que, formando garganta de fondo más estrecho que el diámetro del cable, éste quedara como incrustado en ellas, ya poleas que, cual la de Fouler, aprisionaran fuerte y automáticamente el cable.

Algunas poleas de garganta se han construído con una de las llantas movibles (polea de Champigny) para que, á medida que se pronuncia el desgaste, que no es pequeño, de los labios de la canal, pueda ésta reducirse á sus primeras dimensiones, sin necesidad de disminuir el diámetro de

la polea, acercando la llanta móvil á la fija en la proporción necesaria.

Frenos y reguladores

Asegurada la adherencia suficiente entre cable y polea, es necesario lograr el dominio absoluto de la velocidad con que ha de efectuarse el descenso de la carga.

El cálculo del plano inclinado, conocida la carga máxima y la pendiente que las exigencias del sitio en que han de instalarse requieren, ya nos da la velocidad máxima que podrán adquirir dichas cargas, y, según sean éstas, variará la velocidad entre cero y dicho máximo; pero como nosotros no somos dueños, en muchos casos, de fijar las condiciones, que podríamos llamar naturales, del plano, esto es, no podemos fijar su inclinación ni su longitud, la velocidad máxima resultante podrá no convenir para que la instalación ofrezca las garantías de seguridad que toda obra debe tener. Se necesitarán consiguientemente frenos que reduzcan esta velocidad al grado prudencial.

Estos frenos suelen ser de cinta y consisten en una tira metálica, de ancho variable según el efecto que deba hacer, que abarca la circunferencia entera de la misma polea sobre que retornan ó van arrollados los cables, ó en otra polea montada solidariamente sobre el mismo eje que la anterior.

Según su manera de obrar, aconsejaremos siempre, sin restricción alguna, aquellos frenos que en las condiciones normales, esto es, sin la intervención de fuerzas exteriores, su cinta actúa sobre la

polea, y, por lo tanto, no puede iniciarse el movimiento sin que el *frenero* vaya á aflojar la cinta para que disminuya la presión de la misma sobre la polea. De este modo nunca podrá producirse una catástrofe por impotencia del encargado del freno, sino que, en todo caso, lo será por impericia ó descuido, casos en que siempre pueden exigirse responsabilidades al causante de la desgracia.

Otras veces se substituyen los frenos por los reguladores en que la acción de la cinta está substituída por una resistencia que aumenta á medida que aumenta la velocidad, comprendiéndose sin esfuerzo que en cuanto la velocidad haya llegado á cierto límite, que es variable según las bases del cálculo efectuado para la construcción de reguladores, habrá aumentado la resistencia lo suficiente para que la velocidad se conserve uniforme. Son, pues, verdaderos autorreguladores, y los hay de varias clases, citándose entre ellos el tipo de paletas y el de inmersión de una rueda en un líquido.

Paracaídas

Además de los accidentes debidos al excesivo incremento de velocidad, hay los que puede acarrear la rotura del cable ó el desenganche de la vagoneta de su extremo. De aquí la necesidad de paracaídas que detengan instantáneamente la vagoneta en cuanto no la sostenga el cable roto.

Este problema, que ha sido en realidad más estudiado en su aplicación á la elevación vertical, por ejemplo en la extracción por el pozo maestro, ha sido resuelto de distintas maneras: con la dispo-

sición de Joniaux, que no se ha extendido por demasiada complicación; con la de placas giratorias en un solo sentido, que al subir la vagoneta son rebatidas automáticamente por el mismo empuje de la vagoneta contra el suelo para dejarle paso, volviendo á su posición normal al piso del plano en cuanto la vagoneta no efectúa su presión sobre ellas, y que, en cambio, no ceden si la vagoneta se despeñara; y también se ha resuelto con una disposición muy sencilla que consiste en colocar en la parte trasera de la vagoneta un tornapuntas que vaya arrastrando á medida que la vagoneta sube, y que se clave en el suelo en cuanto la vagoneta inicie un movimiento de retroceso. Se comprende que en la vagoneta que baja este tornapuntas deberá colocarse en posición que no arrastre, y, por lo tanto, quedará esta vagoneta desamparada y se precipitará por la pendiente si se rompe el cable.

Rodillos para el cable

El cable, abandonado á su propio peso, arrastraría por el suelo y en poco tiempo quedaría destruído; y, por otra parte, se desarrollaría tal resistencia que no sería posible la existencia de planos inclinados automotores. Es necesario, pues, colocar de trecho en trecho apoyos en la entrevía que, sin impedir el paso de las vagonetas, lo sostenga á tal altura que su punto más bajo no llegue á tocar el piso; además, en estos apoyos dispondremos rodillos para transformar el rozamiento de deslizamiento en el mucho menor de rotación.

Estos rodillos son simplemente cilíndricos, con ó sin llantas, y han de ser uno para cada cable. Y si el eje del plano inclinado fuese curvo, les daríamos formas cónicas más ó menos pronunciadas según la curvatura de la línea. También deberán ser de forma especial en las cercanías de la bifurcación ó apartadero central, para que cada cable tome la dirección de la vía correspondiente.

Otras observaciones sobre los planos inclinados

La longitud de los planos inclinados subterráneos no es prudente exceda de unos 100 metros, y si debiera construirse alguno de mayor longitud, se dividirá en secciones que no alcancen el límite fijado. En este caso se tomará la precaución de no proyectar estas secciones unas á continuación de las otras, para evitar que un percance sucedido en algunas de las secciones superiores, por ejemplo, una vagoneta despeñada, pueda causar desgracias personales ó destrozos materiales en las secciones inferiores. Generalmente se colocan alternadas, con lo cual vienen colocadas sobre dos solas rectas, ó bien se apartan constantemente hacia uno de los lados.

Esta previsión aconseja también que el descargadero del pie del plano no comunique directamente con la galería principal ó con el pozo maestro, sino que comunique indirectamente con ellos.

Finalmente, en la parte superior se ha de disponer una sólida valla para que no pueda precipitarse hacia abajo ninguna vagoneta, valla que sólo

ha de abrirse para dar paso á las que ya se hayan sujetado en el extremo del cable.

El amarre del cable á las vagonetas se efectuará con mecanismos de seguridad, para que por ninguno de los movimientos bruscos del cable pueda acarrear el desenganche.

Planos inclinados ascendentes

Si el plano inclinado ha de ser ascendente, será necesario producir una tracción por medio de la polea superior, para lograr el transporte de las cargas hasta el nivel superior.

Los planos inclinados de esta clase pueden ser de cable rastrero ó de cable sin fin flotante. Los de cable rastrero pueden ser con cable discontinuo, si los trenes de vagonetas se atan por la primera y última de ellas á los extremos del cable, quedando de esta manera como un cable sin fin que el movimiento de la polea superior hace correr en uno ú otro sentido; y también con cable sin fin, si pasando el cable por debajo de la plataforma de las vagonetas, éstas se unen directamente, formando tren ó no, al cable, por el intermedio de un tirante.

Los planos inclinados de cable flotante, ó sea aquellos en que el cable pasa por encima de la caja de las vagonetas, han de ser de vía doble, porque, por lo general, no se forman trenes, sino que se enganchan las vagonetas individualmente, y, por lo tanto, no tendríamos seguridad ninguna de que se cruzasen precisamente en los apartaderos que se construyesen en el plano.

III

EXTRACCIÓN POR EL POZO MAESTRO

El servicio de extracción por el pozo maestro supone el máximo de movimiento de la mina. Deberá, pues, dedicarse un especial cuidado en su organización, para que no se interrumpa en ninguna circunstancia, pues su paralización reportaría lamentables consecuencias económicas.

Esta extracción se verifica mediante un mecanismo de polea ó cabrestante, que se instala en la parte alta de una armazón que se construye en la boca del pozo, y de manera que la cuerda ó cable venga en la vertical por que se desea que pase el eje ideal de la extracción. En el extremo libre del cable se cuelgan ó amarran las vasijas en que se colocan los materiales que han de extraerse. La polea se mueve mediante un motor especialmente dedicado á este servicio.

Castillete

El armazón ó castillete construído en la boca del pozo ha de ser de construcción segura, para que no sufra flexión ni ninguna otra clase de movimientos por la carga que soporta la polea, pues se comprende que todos estos movimientos se traducirán en traslaciones del eje y consiguientemente en perturbaciones del servicio.

Se construye apoyándose alrededor de la boca del pozo, ó bien se construye en forma de soporte de grúa, para que quede libre el terreno que circunvala al pozo. En el primer caso, puede ser de materiales pétreos, metálicos ó de madera; en el segundo, suele ser de materiales metálicos.

Su altura es, á primera vista, exagerada; pero ha de tenerse en cuenta que por descuido podría subir más de lo conveniente el tonel ó vasija y podría chocar contra la polea, lo cual acarrearía seguramente la rotura del cable y consiguiente caída del tonel por la boca del pozo, ó, por lo menos, averías de mayor ó menor importancia. Esta altura, pues, deberá comprender: 1.° La altura de la vasija ó tonel; 2.° Una altura prudencial, que por lo menos alcance 5 metros, para evitar el choque contra la polea; 3.° El radio de la polea. De manera que se necesitan como mínimo unos 10 metros, habiendo algunos castilletes que alcanzan hasta 40 metros.

Cable

La naturaleza de la fibra de que ha de construirse el cable es también de verdadera importancia, pues la rápida usura y el relativo buen estado que todavía han de tener los cables desechados para que la seguridad del servicio sea efectiva, piden un recambio frecuente de él.

Tanto las fibras vegetales como las metálicas presentan sus ventajas é inconvenientes. Las primeras, que han sido las más empleadas hasta hace pocos años, se fabricaron principalmente de cáñamo

ó de abacá, si bien aquél sólo puede emplearse en pozos secos y de atmósfera pura, pues se destruye químicamente en poco tiempo en las atmósferas impuras y en contacto de humedades, y además, no es de tanta duración como el abacá, aunque puede aumentarse impregnándolo con un 20 por 100 de alquitrán y dejándolo luego reposar, antes de entrar en servicio, aproximadamente un año, lo cual no deja de ser un inconveniente, porque constantemente han de tenerse de repuesto uno ó dos cables alquitranados.

Visiblemente son cada día menos los cables vegetales empleados, de los cuales no hemos hecho mención siquiera de los de esparto, por su poca resistencia.

En cambio, los cables metálicos los van substituyendo, y de entre ellos los preferidos son los de acero, por su mayor resistencia á la tracción y por la menor sección que en consecuencia requieren, lo cual aligera extraordinariamente el motor. Los de hierro tienen el grave inconveniente que se modifica la naturaleza del metal, el cual de fibroso que es al principio pasa á ser cristalino, y, por lo tanto, quebradizo, y, además, se oxidan fácilmente, á no ser que se empleen en su fabricación alambres galvanizados.

En ocasiones, se han construído de acero vanadiado, fosforado, siliciado, etc., y también de bronce fosforado.

El hierro se ha empleado igualmente en forma de cadena, pero la inseguridad que presentan por la dificultad de comprobar el buen ó mal estado de

cada uno de los eslabones, nos impide recomendar su empleo en el servicio de extracción.

Los cables no suelen construirse de una sola pierna ó cabo, sino que se toman varias de ellas, cinco ó seis, generalmente seis, que se arrollan ó retuercen alrededor de un ánima central, que á veces es de distinta materia que las piernas exteriores. Otras veces se juntan varios cables sencillos, unos al lado de otros, y queda un cable de forma plana en vez de la forma circular que tenían los anteriores.

Para comprobar su pérdida de resistencia se estudia la dilatación que va sufriendo por el uso; al principio se alarga extraordinariamente para luego quedar casi estacionario, alargándose de una manera bastante regular; y unos pocos días antes de sobrevenir la rotura sufre un alargamiento anormal. Por lo tanto, en cuanto lo notemos, lo retiraremos del servicio para evitar una catástrofe.

Dada la gran profundidad alcanzada por algunos pozos, se comprende que no será conveniente dar el mismo diámetro á toda la longitud del cable, puesto que, suponiendo por un momento la cuba cerca del fondo del pozo, la parte superior ha de sostener no sólo la cuba sino también toda la porción del cable que hay entre la polea y la cuba, cuyo peso no deja de tener su importancia; mientras que á medida que la cuba va acercándose á la superficie, la porción de cable que gravita de la región inmediata á la polea es mucho menor. La sección del cable deberá ser, por lo tanto, tanto mayor cuanto

más lejana de la cuba la consideremos; esto es, emplearemos cables de sección decrecente.

Polea

Las poleas son tambores susceptibles de girar alrededor de un eje horizontal, en cuyo movimiento van arrollando ó desarrollando el cable de cuyo extremo pende el tonel. Este arrollamiento se consigue fijando el extremo del cable, por uno ú otro medio, al tambor, con lo cual se consigue, además, que ni aun por inadvertencia pueda, al desarrollar, saltarse el cable y caer hasta el fondo del pozo; y puede efectuarse de manera que las espiras se coloquen unas al lado de las otras, ó bien que se superpongan continuamente. En el primer caso se tendrá una hélice, y en el segundo una espiral; en el primer caso se emplean cables cilíndricos, y en el segundo, cables planos.

Regulación de la velocidad de extracción

Dada la gran longitud de los cables de servicio de extracción de las minas, la resistencia que ha de vencer el motor son muy distintas según la altura á que se encuentre el tonel; pues cuando éste está en la caldera, el motor tiene que arrastrar algunos centenares de metros de cable que representan algunas toneladas de peso, mientras que en los últimos momentos de la operación, cuando el tonel está cerca de la boca del pozo, estas toneladas de cable han quedado reducidas casi á la nada.

Sucedería, pues, que el motor, al encontrarse

tan aligerado se dispararía, y no serían suficientes los medios del paro de que dispone el maquinista para detener el motor, y, por lo tanto, el tonel, en el punto preciso en que ha de serlo, sino que, continuando su ascensión, quedaría detenido por la polea, y, rompiéndose el cable, se precipitaría el tonel pozo abajo, y por la sacudida que recibiera el motor se causarían en él desperfectos materiales de importancia, y quizás desgracias personales en los obreros afectos á su cuidado, ó bien en otros casos, cuando la instalación permitiese el paso libre cual sucede en los castilletes en forma de grúa, saltaría el tonel por sobre la polea y sería lanzada contra el motor destrozándose y destrozándolo todo.

Siendo, pues, la causa de esta desigual velocidad las diferencias de resistencia que el peso del cable supone, natural es que se haya pensado, en primer lugar, salvar este inconveniente por medio de resistencias adicionales de entre las cuales señalaremos como soluciones curiosas, primero, la que dispone no un cable que se arrolla sobre una polea y, por tanto, tiene un solo extremo libre, sino un cable sin fin que pasa por sobre la polea y lleva convenientemente fijadas dos cubas de manera que cuando una de ellas está en la boca del pozo descargándose, está la otra en el fondo cargándose, y segundo, la que impide el aumento de velocidad por la resistencia que oponen unas aletas al girar con velocidad creciente en un medio resistente que, en la práctica, suele ser el aire ó el agua.

También se ha logrado solucionar esta irregularidad modificando el perfil de la polea arrolladora,

ó bobina, y se comprende que esta es una solución también práctica puesto que supone sólo la construcción de bobinas, no cilíndricas, sino cónicas.

Y, por fin, en otros casos, se ha regularizado el movimiento, actuando en cada instante sobre los órganos de admisión del vapor en los cilindros de las máquinas motrices, y, por lo tanto, haciendo de manera que se conserve constante la velocidad de la máquina, á pesar de las variaciones de la resistencia que ha de vencer, y entonces el tambor de arrollamiento se conserva con su forma cilíndrica.

Manera de efectuar la carga y descarga

Cuando la cantidad de materia á transportar es pequeña, las mismas narrias sirven, si se dispone de suficiente número de ellas, para que nunca suceda el caso de no poder desescombrar por no tener narrias vacías disponibles, para efectuar la extracción. Basta en este caso colocar dos narrias de lado, de cuatro garfios, que, colgando del cabo del cable, las cogen por sus asas, y á veces por debajo de estas dos se cuelgan otro par, y á veces todavía otro par. Pero si la importancia del servicio es algo importante, se recurre á los toneles y á las jaulas. Los toneles se llenan por su boca, para el caso del servicio en uno de los pisos intermediarios; y esto se verifica ya á pala, ya vaciando los capazos ó narrias en el tonel á medida que van llegando, ya volcando sobre él, ó sobre un descargadero que á la cuba conduce, las vagonetas llenas. Y, una vez dada la señal de izar y ya llegada la cuba á la

superficie, se vuelca el tonel ya sobre las primeras cribas de la preparación mecánica del mineral, ó, lo que es más común, en los vagones que hasta los talleres de dicha preparación han de llevarlo, ó en montones convenientemente clasificados.

Si la extracción se hace por medio de jaulas, la operación es mucho más rápida y hasta más sencilla la contabilidad que se lleva con cada uno de los mineros ó grupos de ellos que trabajan á destajo, pues que basta con detener la jaula en el punto preciso para que unos rails que en su interior hay coincidan con los de la galería que desde los tajos conduce al pozo é introducir en ella las vagonetas que ya están esperando su llegada, y, una vez en la superficie, se encarrilan en otra vía que sólo queda interrumpida en la boca del pozo y con la que se hace coincidir la vagoneta, de manera que en habiendo salido por un lado de la jaula las vagonetas llenas, se hacen penetrar por la opuesta las vagonetas vacías que han de ser nuevamente introducidas en la mina.

Si la jaula fuese de dos pisos, se comprende que estas operaciones serían dobles cada vez.

El encargado de la recepción del material toma de cada vagoneta la contraseña que el minero ha colocado en ella y la cuelga en un cuadro, en el número que corresponde con el del minero.

Los toneles destinados á la extracción, como asimismo los que se emplean en el desagüe directo por el pozo maestro, han de tener mayor diámetro en el centro que en los extremos, para que en

ningún caso queden detenidos por los salientes ó construcciones que haya en el pozo.

Las jaulas vienen á ser como unos recintos prismáticos, limitados por rejas metálicas ó de madera, en cuyo interior se introducen las cargas en sus propias vagonetas. Su forma obliga á guiarlas, y con este fin llevan exteriormente unas *abrazaderas* que por medio de unos resortes están constantemente en contacto con dos ó más *guías* que rigen en toda la longitud del pozo. Estas guías pueden ser barras metálicas ó bien simples cables, bien tensos, que van de la boca á la caldera del pozo; pero son más seguras las primeras.

Presentan las jaulas la muy recomendable ventaja de permitir la instalación de mecanismos *paracaídas,* para impedir que por la rotura del cable la jaula se precipite hasta el fondo. No entraremos en su descripción aunque bien lo merecen; pero su semejanza con los tipos que funcionan en las industrias corrientes nos dispensan de ello.

Extracción neumática

Es un medio sencillísimo de efectuar el servicio de extracción. Supongamos un tubo cilíndrico vertical cuyas paredes interiores son perfectamente lisas y de diámetro interior exactamente constante, con un émbolo que puede recorrerlo á frotamiento suave en toda su longitud. Si aspiramos por el extremo superior el aire contenido en el tubo, el émbolo, que suponemos en el otro extremo, será aspirado y subirá por el tubo. Si detenemos la aspiración, el émbolo quedará esta-

cionario, y si dejamos entrar ahora lentamente el aire en el tubo, el émbolo irá descendiendo á medida que la presión atmosférica va restableciéndose en el tubo.

De igual manera sucede, esquemáticamente, en la práctica. Una gran tubería de más de 1 $1/2$ metros, de diámetro interior constante y paredes perfectamente lisas, está instalada á todo lo largo del tubo. Por la parte superior comunica ya con la atmósfera, ya con una máquina neumática industrial, y, por la parte inferior, ya con la corriente ventilatoria general, ya con la atmósfera por medio de un tubo de menor diámetro que llega hasta la superficie. El émbolo tiene, inferiormente, un mecanismo para suspender de él una muy alta y estrecha jaula donde se colocan las cargas que han de transportarse hasta la superficie.

La manera de funcionar, salvo las particularidades, para hacer más práctico y económico este sistema de extracción, es la que hemos indicado antes. Esto es, haciendo funcionar convenientemente unas válvulas que están instaladas en las cuatro comunicaciones, dos superiores y dos inferiores, que acabamos de indicar.

La extracción neumática presenta serias ventajas sobre los demás sistemas de extracción. Como primera y principal, no es posible la caída de la jaula por insuficiencia de ajuste del émbolo con el tubo, porque el escape del aire por el tubo que inferiormente comunica con la atmósfera produce tal ruido, que el encargado del aparato puede inmediatamente tomar las precauciones pertinentes para evitar la

caída. Además, la velocidad de extracción es constante porque no hay cables que hagan variar la resistencia ni hay balanceos ni oscilaciones, porque es condición precisa el ajuste del émbolo con el tubo; y, finalmente, facilita la ventilación, pues en cada ascensión toma una cantidad de aire viciado, que en el descenso es expelido á la atmósfera por el tubo que hace comunicar directamente la parte inferior del pozo neumático con la atmósfera.

El sistema descrito es de simple efecto; pero reuniendo dos tubos puede resultar una extracción por doble efecto, de la cual no hay todavía, que sepamos, instalación ninguna en la práctica.

CAPÍTULO VII

VENTILACIÓN

Generalidades

La vida animal requiere para su existencia disponer de cierta cantidad de oxígeno, con objeto de transformar la sangre venosa en arterial; este oxígeno se encuentra en el aire, en la atmósfera, y de ella lo toman tanto el hombre como los animales terrestres para devolverlo á ella, en parte, transformado en otro cuerpo, el anhidrido carbónico, usualmente llamado ácido carbónico. Llegará, pues, un momento, si el individuo sólo dispone de un volumen limitado de aire, en que quedará agotada la cantidad de oxígeno que contenga el volumen de aire de que dispone, y su vida cesará.

En iguales ó análogas condiciones se encuentra el minero en el interior de la mina, pues, si bien en realidad no hay incomunicación entre la atmósfera interior y la exterior, pues que están en contacto por medio de los pozos ó galerías de entrada á la explotación, la relativamente pequeña sección de éstos con respecto al volumen atmosférico total

interior la hace prácticamente limitada. Será, pues, necesario enviar al obrero que en el minado gana su jornal, la cantidad de oxígeno que su respiración exige, y, al propio tiempo, librarle de los productos que al respirar esparció por la atmósfera, pues no sólo son inútiles, sino lo que es peor, son irrespirables por tóxicos. Pero, antes de entrar en los modos de verificar este servicio, veamos cuáles son los productos que contribuyen á impurificar la atmósfera y cuáles son las causas á que son debidos.

Causas que hacen irrespirable la atmósfera de las minas

La atmósfera terrestre, cuando pura, esto es, en las condiciones normales en que no ha sido alcanzada por ningún producto de los que no le son propios, está formada aproximadamente por 21 volúmenes de oxígeno, 79 volúmenes de nitrógeno y cantidades pequeñas y, al propio tiempo, variables según las localidades de vapor de agua y de ácido carbónico (CO_2 = anhidrido carbónico), que rebajan un poco las cifras citadas como correspondientes al oxígeno y al nitrógeno.

Pero, en muchas ocasiones, no son estas las proporciones entre los componentes de la atmósfera, ni son ellos los únicos que la integran, pues la presencia de desprendimientos de otros gases, ó la utilización de parte del oxígeno que ella contiene los hacen variar extraordinariamente. De entre las muchas causas que á ellos contribuyen pueden ser citadas como principales, ya refiriéndonos al caso concreto que debemos estudiar: la respiración huma-

na y animal, las combustiones verificadas en las lámparas, hogares y en la explosión de barrenos, las oxidaciones naturales que los minerales sufren, los desprendimientos de CO_2, CH_4 (metano) y otros gases naturales, los miasmas desarrollados donde hay vida animal y donde hay putrefacciones de substancias orgánicas y de acción química sobre el organismo.

Hay también otras causas que contribuyen físicamente á hacer malsana una atmósfera; tales son la elevación de temperatura, la humedad excesiva, los excesos de presión ó depresión y las partículas inertes ó polvo en suspensión en el aire.

Empecemos estudiando las consecuencias de la presencia de determinados cuerpos en el aire.

El *anhidrido carbónico* no es venenoso, sólo es irrespirable y causa la muerte por asfixia. Las causas que lo producen son la respiración de hombres y animales, las varias clases de combustiones que se producen natural ó artificialmente en el interior de la mina, los desprendimientos gaseosos que tienen lugar por las grietas del terreno, y los manantiales naturales cuyas aguas le llevan en disolución á presión mayor que la atmosférica. Su densidad relativamente grande, 1'5, hace que en una atmósfera calma se acumule en la parte baja de ella, donde permanece tiempo más ó menos largo por no tener gran velocidad de difusión.

El minero que se encuentra sumergido en una atmósfera que contenga regular cantidad de anhidrido carbónico, siente un poco de dolor de cabeza

y de ojos, y un hormigueo más ó menos intenso (Malo de Molina), y á los pocos momentos cae repentinamente al suelo, donde, como se desprende de lo anteriormente dicho, queda agravada su situación por encontrarse sumergido en la región en que es mayor la cantidad de este mortífero gas.

Afortunadamente, antes de que este gas llegue á alcanzar tan funestos resultados para la vida animal, ya ha producido su acción sobre las combustiones, pues no siendo propio para alimentarla y no siendo tampoco combustible por sí mismo, las apaga en cuanto alguna de ellas se ve accidentalmente sumergida en una atmósfera de determinado tanto por 100 de CO_2. Así es que todo minero prudente, en lugares en que tema la presencia de este gas, llevará la lámpara colgando de la mano y lo más próxima al suelo, pues de esta manera se le apagará la luz antes de que sus órganos respiratorios puedan aspirar anhidrido carbónico. Es tan manifiesta en las atmósferas quietas la superficie de separación entre este gas y el aire puro, que una bujía que arde perfectamente y sin señal alguna de que se apagará, se apaga si se desciende de un solo centímetro; y un obrero que conozca bien el nivel de separación de ambos gases puede caminar, si está dotado de suficiente sangre fría, por una atmósfera de anhidrido carbónico que le llegue hasta el pecho, y aun más arriba, si se mueve sin efectuar movimientos bruscos que agiten la atmósfera y lleve la lámpara de modo que su llama quede algo más baja que la boca, en garantía de que no tiene ésta sumergida en la capa peligrosa.

Del metano, gas de los pantanos, grisú, ó más científicamente, del hidrógeno protocarbonatado, no trataremos aquí, pues de él se trata lo suficiente en el capítulo referente al alumbrado. Sólo diremos, para que mejor pueda compararse con el anhidrido carbónico, que es asfixiante pero no venenoso; que, por ser su densidad menor que la del aire, se acumula en la región alta de las galerías, y que, por ser incoloro é inodoro, tampoco puede notarse, al igual de lo que sucede con el anhidrido carbónico, su presencia en el aire. Por fortuna, también aquí viene la lámpara en auxilio del obrero, pues se apaga al encontrarse sumergida en una atmósfera en que la proporción de grisú llegue á cierto límite. Obsérvese, sin embargo, que no puede impunemente sumergirse una lámpara cualquiera en una atmósfera de grisú, sino que ha de ser de la clase de las llamadas de seguridad, descritas en el antes dicho capítulo que trata del alumbrado.

En cuanto al *óxido de carbono,* que no existe, naturalmente, en la atmósfera, parece producirse únicamente por efecto de combustiones incompletas habidas en las minas, en especial durante algún incendio, ó alguna explosión debida al grisú ó á los polvos en suspensión en la atmósfera. Este gas es tanto más de temer cuanto que no tenemos medios de observar su presencia en el aire de una manera que pudiéramos llamar automática ó inconsciente, como hemos visto sucede con el CO_2 y el CH_4, puesto que antes de que apague las combustiones, antes de que se extinga la llama de la lámpara del

minero, su actividad tóxica ya ha llegado al límite en que es mortal para el hombre.

El *nitrógeno* no se desprende naturalmente. Es un gas inerte, sin acción sobre el organismo, cuya presencia en el aire tiene por finalidad disminuir la acción quemante del oxígeno puro. La existencia de cantidades de nitrógeno mayores que la normal es debida á haberse empobrecido en oxígeno la atmósfera que lo contiene.

Los *polvos minerales* activos pueden ser causa de intoxicaciones más ó menos enérgicas según sea su naturaleza ó composición; es por demás mentar las enfermedades ó intoxicaciones lentas que adquieren los obreros de las minas de mercurio, arsénico, plomo, etc., á pesar de las medidas que se toman para evitar ó disminuir los polvillos que flotan suspendidos en las atmósferas de dichas explotaciones.

Por fin, los *miasmas* obran orgánicamente, produciendo también enfermedades no menos temibles que los envenenamientos lentos, adquiridos por los polvos minerales de acción química sobre el organismo.

Entre las causas físicas que contribuyen á hacer poco sana una atmósfera, hemos citado la temperatura; y, en efecto, se ha observado que á medida que ésta aumenta, conservándose idénticas las demás condiciones, más difícil es la vida, hasta un límite en que ésta cesa. Hoy se considera como límite de la resistencia humana, la de 54° centígrados que se dejó sentir en la mina de Comstock, en que se vieron obligados á abandonar el trabajo.

Las causas que tienden á elevar la temperatura de las minas son varias, y entre ellas citaremos la respiración y el calor animal, el calor producido por las combustiones y por las oxidaciones naturales, la explosión de los barrenos, el calor terrestre, la presencia de aguas termales, el desprendimiento de gases calientes y la absorción del oxígeno por determinada clase de hullas; causas que evidentemente son todas manantiales caloríficos. El calor terrestre, particularmente, ha sido estudiado con detención, y de mediciones verificadas en muy diversas y distantes minas se ha deducido que aumenta por término medio de 1° por cada 33 metros de profundidad, á partir de la zona de temperatura invariable; de manera que en la actualidad, aun que no se tomase ninguna precaución para disminuir sus efectos, no es inconveniente grande para las explotaciones subterráneas, esto es, que por sí solo no puede impedir el trabajo en los minados más profundos.

El límite de 54°, ó mejor de 50°, que con mayor prudencia se considera, se rebaja mucho si á la acción del calor se une la de la humedad, pues que una atmósfera húmeda á la temperatura de 40° es ya mortal. La temperatura más propia para el trabajo, aquella en que el hombre se encuentra más estimulado para continuarlo una vez principiado, es, en las condiciones normales de presión y de estado higrométrico, la comprendida entre 10 y 20°. Si la temperatura pasa de unos 25° ó es muy baja, ó si está muy cargada de humedad, el trabajo ya no es sano porque no se verifican con la regularidad y con la intensidad convenientes la respiración

ni la transpiración cutánea. Especialmente la primera, por no encontrar los pulmones la cantidad suficiente de oxígeno en cada una de las aspiraciones de un aire que, por estar más dilatado ó por contener más vapor de agua del normal, ha de ser más repetida, y, por consiguiente, produce un exceso de fatiga que exige un descanso más frecuente y causa inapetencia para el trabajo.

Por otra parte, estos mismos efectos son también producidos por presiones ó depresiones excesivas. En las minas, por lo general, la densidad atmosférica es menor que la del exterior á pesar de que, dado el mayor espesor de la capa atmosférica, le correspondiese ser mayor; y esto es debido á que este exceso de densidad es contrarrestado y hasta traspasado por la disminución acarreada por el aumento de temperatura y por la presencia de gran cantidad de vapor de agua y de gases menos pesados que el aire. Tendremos, por lo tanto, que esta menor densidad se traducirá en una menor cantidad de oxígeno por unidad de volumen, y, por tanto, en una mayor frecuencia de las aspiraciones.

Considerados la composición del aire de las minas y los efectos perniciosos que en el organismo animal se producen, natural era que se dedicara especial atención á cuanto contribuyera á purificar estas atmósferas malsanas para alargar la vida del obrero y para aligerar las fatigas de su ya, por naturaleza, penoso trabajo. De aquí el servicio de ventilación que la mayor parte de las minas han de tener instalado.

Ventilación natural

Cuando las condiciones del terreno se presentan favorables, cual sucede en muchas explotaciones de naturaleza filoniana, puede recurrirse á la más sencilla y más económica de todas las ventilaciones; tal es la ventilación natural.

Si se trata, por ejemplo, de un yacimiento situado en una ladera de montaña, y de manera que al abrir dos pozos, uno en cada extremo de explotación, queden sus bocas á niveles muy diferentes (fig. 79), se desarrollará una corriente de aire que circulará por el minado, que para mayor sencillez representamos por *MN* con una dirección é intensidad variables con la temperatura exterior. En verano, siendo más elevada la temperatura exterior que la interior, la circulación se verificará en el sentido *BNMA*, y en invierno, siendo menor la temperatura exterior que la interior, la circulación se orientará en sentido inverso, ó sea *AMNB*. Es por demás mentar que la diferencia entre las temperaturas interior y exterior será la que influirá sobre la intensidad ó velocidad de esta corriente. Como que la temperatura del minado puede considerarse como constante á partir de determinada

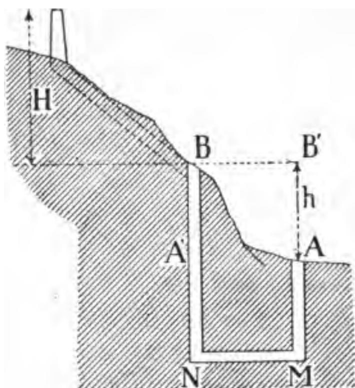


Fig. 79

profundidad, es evidente que en todas estas variaciones sólo es la temperatura exterior la que influye y, por lo tanto, que en los días en que ésta sea poco distinta de la interior, la ventilación será muy débil y dirigiéndose en un sentido ó en otro, lo cual redundará indefectiblemente en perjuicio de los obreros.

Maneras de favorecer la ventilación natural

Para evitar estos percances, y aumentar el volumen de aire puesto en movimiento, se ha procurado favorecer ya la diferencia de niveles, ya la diferencia de temperaturas, ya la velocidad de la corriente.

La diferencia de niveles se ha aumentado disponiendo en la boca del pozo, que está á mayor altura, una chimenea de tiro. Pero esto, que á primera vista parece que no tiene dificultad ninguna, en la práctica es poco menos que imposible en determinados casos, á no ser que las condiciones topográficas del terreno se presenten muy favorables, ó que la diferencia de niveles entre las bocas de ambos pozos sea pequeña, puesto que casi siempre, por poco importante que sea el aumento que desee darse á la ventilación, han de construirse chimeneas de grande altura, puesto que la altura de esta chimenea vendrá dada por la fórmula

$$H = h\left(\frac{v_2^2}{v_1^2} - 1\right)$$

en que h es la diferencia de niveles entre ambos pozos, v_1 la velocidad que tiene la corriente, y v_2 la velocidad que se le desea dar.

Sólo en el caso, repetimos, en que las bocas del pozo que ha de prolongarse esté situado en una ladera muy inclinada, podremos construir una chimenea de colosal altura sin temor de que se nos derrumbe, pues podremos construirla por secciones más ó menos inclinadas, adosadas al propio declive (fig. 79). Por otra parte, ha de tenerse muy en cuenta que la construcción de una chimenea de tiro inutiliza completamente el pozo para cualquier otro servicio, pues supone el cierre de su boca, ya por la misma chimenea, ya por medio de un cierre expreso, para que pueda la chimenea desempeñar su cometido.

Cuando para aumentar la cantidad de aire que ha de pasar por el minado en cada unidad de tiempo, se recurre á aumentar la diferencia de densidades de las atmósferas de una y otra rama verticales de la circulación, pueden ponerse en obra distintos procedimientos, pero el principal de ellos es disminuir la densidad del aire del pozo de salida, mediante su calefacción. Antaño, los hogares de ventilación consistían sencillamente en unas cestas metálicas llenas de un combustible en ignición que se bajaban hasta la mayor profundidad posible sujetándolas en el extremo de una cadena metálica; pero como que para alimentar la combustión debía cada vez subirse la cesta, no era posible hacerla bajar mucho, y se perdía, por lo tanto, una buena parte de la altura del pozo. De aquí que más tarde se instalaran estos hogares de una manera fija en la parte más baja del pozo de salida.

No deja de presentar sus inconvenientes este sistema de favorecer la ventilación, pues en las minas perjudicadas por los desprendimientos de grisú, puede inflamarse éste y producir muy sensibles desgracias. Pero una instalación bien entendida, una instalación en que el aire de la mina no llegue á ponerse en contacto con los carbones encendidos ó con la llama por ellos producida, no presentará ningún peligro y permitirá aprovechar las varias ventajas que este sistema nos reporta. Entre ellas está la de utilizar como combustible la gran cantidad de menudillo y escarbillas ó tierras carbonosas que se obtienen en toda mina de carbón de piedra y que, además de no poderse vender porque es una clase que no puede soportar los más insignificantes gastos de transporte, no se sabe qué hacer de ello, pues han de tirarse al montón de escombros, lo cual no deja de ser costoso; la de ser de efecto eficacísimo, puesto que aumenta mucho con la diferencia de temperaturas. Por otra parte, no sufren desperfectos, como suele acaecer en la ventilación producida mecánicamente con el auxilio de los ventiladores y demás máquinas análogas, y si por casualidad, en un momento dado, por una ú otra causa, no puede continuar funcionando el hogar, ó ha de interrumpirse su comunicación con el pozo, las paredes de éste han acumulado suficiente calor para que continúe la ventilación durante un buen espacio de tiempo sin ninguna clase de disposición improvisada. Tampoco ha de cerrarse completamente el pozo, el cual, por este motivo, puede utilizarse en otros servicios, excepto, como

ya es de suponer, el de achicamiento de aguas, que robaría una buena parte del calor del aire; por este mismo motivo, ha de cuidarse mucho que las paredes del pozo no presenten filtraciones, pues el agua se nos llevaría parte del calor suministrado por el hogar.

Como datos que puedan dar una idea de la importancia que aun hoy se concede á este sistema de ventilación, que á primera vista pudiera tacharse de poco económico, citaremos que importantísimas explotaciones mineras lo tienen todavía en uso; así, en Hetton se mueven 115 metros cúbicos de aire por segundo, en Seaham unos 150 metros cúbicos, y en otras, volúmenes no menos importantes que vienen á resultar, como se ve, cantidades casi inverosímiles de aire por día. Verdad es que las parrillas de estos hogares tienen una superficie extraordinaria, habiendo algunos de ellos que alcanzan la cifra de 60 metros cuadrados.

La fórmula

$$t' - t = \frac{t^2}{353 \frac{H}{k} - t}$$

nos da la diferencia de temperaturas que será necesario alcanzar para producir una depresión de k milímetros de agua, cuando el hogar está situado á H metros de profundidad. Las temperaturas t y t' de los pozos, son respectivamente las *temperaturas absolutas* de los pozos de entrada y de salida de la corriente de ventilación.

Inversamente, cuando se conocen las temperatu-

ras que pueden obtenerse y la depresión que se desea, puede hallarse la profundidad H á que habrá de colocarse el hogar, despejando H en la anterior.

La instalación de estos hogares ha de ser, como ya se ha dicho, minuciosamente estudiada cuando se trata de minas en que se desprendan gases explosivos. En estos casos, la cámara en que se instala el hogar no está construída en la masa de mineral, sino que ha de instalarse en sitio donde no haya materias combustibles próximas, por ejemplo, en roca viva, y si esto no es posible, revistiendo perfectamente con mampostería las paredes de la excavación, y aun mejor, dotándola de dobles paredes, entre las cuales se hace pasar, para refrigerarlas, la corriente de aire que ha de alimentar el hogar. Este aire de alimentación, en los casos peligrosos, no se deriva de la corriente general procedente del minado sino que se toma de las circulaciones ó corrientes parciales más puras, y si no las hay en la mina, directamente del exterior, canalizándolo aisladamente, si bien en este último caso se le mezcla, por razones de economía, una cantidad prudencial de dicha corriente general, la cual, de esta manera diluída, no ofrece peligro alguno. Según sea la proporción de grisú, llégase, en ocasiones, hasta efectuar la mezcla en partes iguales. Además, el tragante del hogar, ó conducto de comunicación del hogar con el pozo, se hace lo bastante largo para que en ninguna ocasión puedan llegar las llamas, ó chispas de los carbones, en contacto con la corriente general que por el pozo sube, sino únicamente los gases calientes.

Variantes de este sistema son la calefacción por medio de caloríferos ó la obtenida mediante el vapor, utilizadas principalmente en vista de alejar el peligro de posibles explosiones; pero tanto uno como otro no son remedios económicos, por lo cual no han prosperado.

Una solución que participa de los dos sistemas anteriores es la que utiliza las chimeneas de las instalaciones accesorias que haya en la superficie, puesto que comunicando estas chimeneas con la boca del pozo, se aumenta la longitud de la columna ascensional del aire, y por estar calientes los gases que ya normalmente pasan por la chimenea, se disminuye la densidad del aire en toda la longitud de este recorrido adicional. Sin embargo, ha de tenerse gran cuidado en que las variaciones que en la ventilación puedan producirse no influyan en los hogares que comunican con la chimenea, é inversamente, que las variaciones de éstos no influyan excesivamente en la velocidad de la corriente ventilatoria.

En otras ocasiones hemos dicho que se variaba la velocidad de la corriente que ya estaba establecida, y para ello se echa mano de las *mangas de viento,* de las *inyecciones de aire comprimido* y de las *lluvias artificiales*. Las primeras sólo se aplican en casos de minados poco importantes, y especialmente en la perforación de pozos; las segundas son más potentes, si bien de poco uso, y las terceras se obtienen disponiendo en el pozo de entrada de aire una cascada de agua que caiga en forma de lluvia,

con lo cual se obtiene una aeración bastante eficaz; pero las condiciones especiales que requiere este sistema, esto es, disponer de un volumen bastante considerable de agua en la boca del pozo de entrada y de un fácil y natural desagüe para dar salida al agua que se va acumulando en el fondo del pozo, hacen que sean pocos los casos en que sea aplicable esta manera de obtener ó favorecer la ventilación. De efectos análogos son las *trompas*, muy usadas antiguamente, pero que desaparecen cada vez más de prisa de la práctica.

Finalmente, las *inyecciones de vapor*, muy análogas á las inyecciones de aire comprimido, han tomado desde pocos años, esto es, desde la invención del inyector de Kœrting, un mayor incremento, aunque no puede recomendarse, salvo especiales casos, como procedimiento económico, pues no hay suficiente con un solo inyector para lograr las colosales ventilaciones que se requieren para algunas de las explotaciones actuales, y hay que disponer, por lo tanto, una serie de ellos.

Ventilación artificial

Siendo la ventilación natural — facilitada ó no con alguno de los recursos que acabamos de citar — insuficiente ó inaplicable en muchos casos, no queda otra solución que acudir en demanda de auxilio á la mecánica y establecer una ventilación exclusivamente artificial, llamándose *ventiladores* á los aparatos que se emplean para hacer circular la masa gaseosa que ha de llevar el oxígeno que los operarios, animales, alum-

brado, etc., necesitan, hasta los más apartados cuarteles de la explotación.

Maneras distintas de instalar una ventilación artificial

Mas, decidida ya la necesidad de una ventilación artificial, se presenta un problema de bastante importancia por resolver, y es, si dispondremos el ventilador en el pozo de entrada de la corriente ventilatoria ó si, por el contrario, lo instalaremos en el de salida.

Ante todo, hay un motivo poderosísimo que impone que la corriente ha de penetrar por el pozo de extracción. En efecto, por una parte, como ya veremos luego, es muy conveniente que la ventilación esté orientada en sentido ascendente, y, por lo tanto, que penetre la corriente por el pozo que á mayor profundidad alcance, y, por otra, debiendo ser en bajada tanto el transporte como el desagüe, porque así se facilitan mucho y son más económicos, y, consiguientemente, que sea también por el pozo que á mayor profundidad alcance por donde se realicen estos servicios, nos encontramos con que tanto los servicios de extracción y de desagüe, como el de entrada de la corriente gaseosa han de verificarse por el mismo pozo. Y en segundo lugar, los cables del mecanismo de extracción, que suele ser el mismo que sirve para la entrada y salida de los operarios, y la presencia de mayor número de personal en este pozo en que se acumula una tan gran circulación, imponen que la atmósfera en estos lugares sea lo más pura posible.

Dando ya como definitivo que la corriente ha de entrar por el pozo de extracción, ¿instalaremos el ventilador y los motores que han de moverlo, en el pozo de entrada ó en el de salida? En el primer caso, el ventilador deberá ser impelente, y en el segundo, deberá ser aspirante.

Ha sido largo tiempo debatida esta cuestión, pero el hecho de tener casi todas las minas instalada la ventilación aspirante, parece dar ya como completamente aclaradas las dudas que hicieron vacilar los ánimos en favor ya de uno ya de otro sistema. Verdad es que con el empleo de los ventiladores impelentes no quedan éstos sometidos á la acción perniciosa de una atmósfera impura ni á la acción destructiva de las explosiones interiores que siempre respiran al exterior por el pozo de salida de la corriente ventilatoria, aunque este último inconveniente queda casi absolutamente orillado, como ya se verá dentro de poco; verdad es, también, que en la aspiración impelente queda la atmósfera de la mina á mayor presión que la exterior, al contrario de lo que sucede en la ventilación aspirante en que es menor la presión interior, y, por lo tanto, que en el primer caso se dificulta el desprendimiento de los gases naturales y en el segundo se tavorece; pero los inconvenientes gravísimos que acarrea tanto el tener reunidos en un reducido espacio los tres servicios: ventilación, extracción y desagüe, que son los más importantes de toda exploración minera, como los que supone el cierre de la boca del pozo en que esté instalado el ventilador que supone toda ventilación

artificial, deciden sin réplica la cuestión en favor del sistema aspirante. Esto sin mentar otra circunstancia no menos decisiva que es la que tiene lugar en los casos en que, por haberse producido alguna avería en el ventilador ó en el motor que lo mueve, ha de suspenderse forzosamente el servicio de ventilación; circunstancia que aboga, repetimos, por el ventilador aspirante, pues aunque éste se pare, la atmósfera no presentará tendencia á impurificarse como si se hubiese empleado el ventilador impelente, porque por razón del paro aumentará la presión interior y se dificultarán los desprendimientos de gases nocivos, al revés de lo que hubiera sucedido con el empleo de máquinas impelentes.

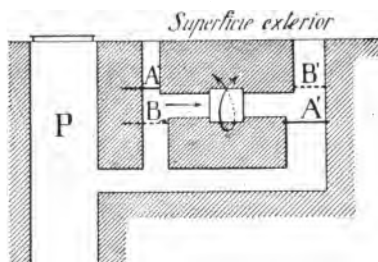


Fig. 80

Á pesar de la preferencia justificada por los ventiladores aspirantes, no ha de adoptarse precisamente la ventilación aspirante con exclusión absoluta de la impelente. Se construyen ya con esta mira *ventiladores reversibles*, esto es, que con sólo cambiarles el sentido de la rotación pasan de impelentes á aspirantes ó de aspirantes á impelentes. De todos modos, aun disponiendo sólo de un ventilador aspirante ó impelente, puede cambiarse el sentido de la ventilación de la manera que esquemáticamente y en sección vertical nos representa la fig. 80. Si *V* es el ventilador cuya construcción sólo

le permite girar en el sentido indicado por la flecha curva, dando una corriente en el sentido representado por la flecha recta, se comprende que, cerrando los registros *A* y *A'* y abriendo los *B* y *B'*, tendremos una ventilación aspirante; é inversamente, cerrando los *B* y *B'* y abriendo los *A* y *A'*, tendremos una ventilación impelente.

Precauciones que han de tomarse para que la ventilación sea eficaz

Dejando para los tratados de mayor vuelo la descripción de los ventiladores modernos, correspondientes á los dos grandes grupos en que pueden clasificarse, pues el estudio de su teoría nos llevaría hasta un límite que no nos hemos propuesto alcanzar, enumeremos las condiciones que ha de reunir una buena ventilación y cuáles son las precauciones que deberemos tomar para cumplir con ellas:

1.ª *La corriente ha de ser ascensional* para que quede favorecida por la disminución de densidad que sufre por su mezcla con el grisú y por la cantidad de vapor de agua de que se va saturando durante su recorrido. Para ello se la hace entrar por el pozo que alcance mayor profundidad.

2.ª Al propio tiempo *la dirección general de la corriente ha de ser en diagonal*, de manera que, componiéndose con la ascensión, tendremos en definitiva una corriente en sentido diagonal ascendente. Para lograr esto, es necesario que los dos pozos de la mina estén situados en los extremos de la explotación y no uno á poca distancia del otro

(pozos gemelos); porque en este caso, después de haber llegado la corriente ventilatoria hasta las regiones más apartadas del minado, ha de volver á buscar la salida hasta muy cerca del punto por donde había entrado.

3.ª *Supresión de toda clase de anfractuosidades.* — Es obvio que cuantos obstáculos ó entrantes y salientes presente el camino que ha de recorrer la corriente, han de producirse dos efectos igualmente sensibles. Uno, un aumento de trabajo correspondiente á la mayor ó menor dificultad con que recorra el aire este camino desigual, y otro, el peligro que supone la masa de aire que queda estacionaria, sin renovarse, detrás de los obstáculos y en las oquedades que presente el recorrido.

Dejando de lado las oquedades y desigualdades que presenten las paredes y techos de las galerías y pozos, porque por poco cuidado que se ponga es fácil eliminarlos casi en absoluto, y refiriéndonos exclusivamente al sistema de fortificación, es evidente que la mampostería es la más conveniente de todas ellas y que el empleo de la madera es el más perjudicial; y que se suavizan mucho los inconvenientes de la entibación con madera, empleando marcos mixtos de hierro y madera en que la cumbrera es de hierro, puesto que, pudiendo ser su sección más restringida, no se forman tan voluminosos recodos, y, por lo tanto, se alejan las contingencias de posibles aglomeraciones de gases nocivos ó peligrosos en ellos, pues sabido es que el óxido de carbono y el grisú, como menos densos que el aire, tendrán

tendencia á ocupar los techos ó partes más elevadas de las excavaciones.

4.ª *Subdivisión de la corriente.* — La subdivisión de la corriente ventilatoria en varias corrientes parciales, cada una de las cuales esté sometida á un recorrido distinto, se impone por razón humanitaria. Se comprende sin esfuerzo que los obreros cuyo trabajo estuviese situado en lugares próximos al pozo de salida de la corriente, respirarán un aire no sólo pobre en oxígeno por haber sido desposeído de él por los obreros que antes le han respirado, sino que contendrá, además, una fuerte proporción de gas carbónico, de vapor de agua y de óxido de carbono, y también de grisú si es que la mina está propensa á su desprendimiento. Por otra parte, cualquiera explosión ó incendio, propagándose, como es natural, en el sentido de la corriente, alcanzaría casi indefectiblemente á todos los obreros que estuviesen en los lugares situados entre aquel en que hubiese ocurrido la explosión ó el incendio y el pozo de salida; y, por fin, cualquier causa de interrupción total de la corriente, como, por ejemplo, el derrumbamiento del techo de una galería, expondría toda la explotación á no gozar de la acción benéfica de la ventilación, y, por tanto, á suspender todo trabajo.

En cambio, subdividiendo la corriente en otras varias, en cuanto penetra en la mina desaparecen dichos inconvenientes y se goza, además, de otras ventajas, de entre las cuales citaremos un menor consumo de energía, gran facilidad de socorrer á los compañeros que estén en peligro por haber

ocurrido algún percance en la sección ventilatoria en que trabajan, limitación de los incendios y explosiones ó irrupciones de gases nocivos á un radio poco extenso y una más regular y equitativa ventilación, por ser demasiado importantes para no ser mencionadas.

5.ª y finalmente. La *sección de las excavaciones que recorre sucesivamente la corriente de aire ha de ser también sucesivamente mayor,* puesto que disminuyendo la densidad del aire á medida que se va impurificando, aumenta de volumen, y, por lo tanto, si como es de rigor, quiere conservarse constante la velocidad de la corriente, ha de aumentarse proporcionalmente la sección. Para los efectos de este principio ha de observarse que ha de considerarse como máximo una velocidad de 4 á 6 metros por segundo para minas que no contengan grisú, pues para las que lo contienen son ya excesivamente peligrosas, porque pueden hacer correr la llama al exterior.

Para no apartarnos de los principios anteriores, hemos de tomar ciertas precauciones que obliguen á la corriente á cumplir con ellos.

En primer lugar, el interior de una mina no es un conducto único, sino que, partiendo de una entrada única, que es el pozo de entrada, se ramifica y se subdivide en innumerables canalizos, para luego irse de nuevo reuniendo, acoplando, hasta terminar en otra sola abertura, que es el pozo de salida. El aire, pues, que penetre, ya por el pozo de entrada, ya por el de salida, deberá ser guiado,

conducido por el camino que se quiera hacerle recorrer, puesto que abandonado á su propio impulso escogería, de entre las varias galerías que se le presentasen en las encrucijadas, aquella por la cual se le opusiesen menores resistencias; de aquí la necesidad de instalar tabiques y puertas.

Los *tabiques* tienen por objeto impedir el paso de la corriente por los sitios donde ya no se necesita ventilación por no trabajarse en ellos ó por estar ya abandonados ó prohibido el paso por ellos. Estos tabiques se construyen de mampostería cuando se les quiere dar mucha dirección y perfecta interrupción de la corriente; ó bien de madera ó de cañizo enyesado, pero tomando la precaución de obturar bien los intersticios laterales y del techo de la galería.

Las *puertas* tienen igual objeto que los tabiques, pero se emplean en el caso en que la circulación deba continuar por la galería que cierran, ó en que próximamente ó en casos especiales ha de abrirse nuevamente á la circulación. Antiguamente se disponían simples cortinas de telas pesadas ó de esparto que desempeñaban muy imperfectamente su cometido, puesto que dejaban pasar buena porción de aire por los intersticios que quedaban entre ella y las desigualdades de la pared, y porque, al ser apartadas de su posición normal por las oscilaciones que le imprime la propia corriente, lo dejan pasar todavía en mayor cantidad. Pero hoy las puertas se construyen pulcramente y se da al marco una cierta inclinación para que se cierren por sí mismas por el lado que convenga. En ciertas oca-

siones estas puertas no han de quedar completamente cerradas, sino que por medio de cadenas de longitud variable con la cantidad de aire que se quiere dejar pasar, fijadas al muro y á la puerta, se impide que ésta llegue á cerrar del todo; y otras veces en vez de cadenas se disponen ventanillos que, más ó menos abiertos, dejen pasar el aire calculado.

Acabamos de decir que las puertas han de cerrarse por sí solas, y ahora añadiremos que han de abrirse ya en ambos sentidos ó ya en aquel en que se verifique el transporte, pues no disponiendo de sus manos los operarios que van cargados, pueden, con un empujón dado con la rodilla ó con las mismas espuertas llenas, abrir la puerta sin valerse de ellas. También se abren la puerta por sí mismas las caballerías que arrastran las narrias ó trenes de vagonetas con sólo disponer en sus guarniciones de arreo un palo saliente que empuje la puerta antes de que el caballo llegue á dar con ella. En cuanto obrero ó caballo han pasado la puerta, por la inclinación del marco se cierra ésta por sí sola.

No obstante, es á veces tan importante que no pueda, en ningún caso, quedar abierta la puerta, cosa siempre posible, puesto que puede caer alguna piedra de las que son transportadas, que quede acuñada entre la puerta y el suelo, que se emplean porteros cuyo único trabajo es abrir y cerrar la puerta. Estos porteros suelen ser niños ú obreros ancianos imposibilitados para el trabajo ya por la edad ya por accidente ocurrido en la mina, no obreros todavía aptos para el trabajo, siendo preferible

un anciano á un niño, porque la senilidad de aquéllos es siempre menos de temer que las distracciones de éstos.

Todavía son pocas estas precauciones cuando la separación atmosférica entre las dos regiones de la galería ha de ser absoluta. No queda otro remedio, entonces, que recurrir á las *puertas dobles*. Una *puerta doble* no es más que una instalación de dos puertas separadas una de otra por un espacio más ó menos grande; de manera que, cerradas ambas puertas, queda entre ellas una cámara del ancho de la galería y de una longitud variable con la distancia que hay entre ambas puertas. Con esta disposición se logra que, al abrir una de las puertas, no haya comunicación con la otra porción de galería, puesto que queda cerrada la otra puerta; y cuando se ha llegado á ésta, al abrirla, ya ha tenido tiempo de cerrarse la primeramente abierta.

La distancia que se deja entre ambas puertas ha de ser lo suficiente para que en ninguna ocasión queden abiertas ambas puertas. Así para el solo paso de obreros ó caballerías cargadas, ha de ser tal que marchando á un paso natural al abrir la segunda se haya ya cerrado la primera; y para el paso de trenes de vagonetas ha de ser suficiente para que quepan entre puertas los trenes más largos que sea costumbre hacer circular.

Falta todavía una última observación sobre las puertas de un solo batiente, y es que, á pesar de la instalación de puertas dobles, puede haber comunicación entre los dos lados de la galería, pues puede darse el caso que en el propio instante que empu-

jemos una puerta para entrar en la cámara, otro individuo abra también la puerta opuesta. Para resolver este caso, se recurre á las *puertas gemelas* ó solidarias ó á las *puertas triples*. De éstas ya se comprende cuál ha de ser el mecanismo, y, respecto á las primeras, bastará decir que es un sistema de puertas dobles cuyas puertas están relacionadas entre sí por medio de mecanismo que no deja abrir la una cuando la otra está abierta ó incompletamente cerrada.

Cuando el tránsito rodado de una galería es muy intenso y ha de efectuarse en ambos sentidos, se construyen *puertas con doble hoja*, de manera que uno de los batientes abra en un sentido y el otro en el sentido opuesto; y creemos por demás decir que esta disposición se aplica aún en el caso de dobles y triples puertas.

Finalmente, toda puerta que no pueda ser abierta ha de estar cerrada con llave y en ella ha de haber un rótulo que avise que el paso por ella queda prohibido. Y toda puerta que se encuentre abierta ha de ser cerrada por el primero que lo advierta, pues será señal que alguien ha olvidado cerrarla, desde el momento que en las minas la puerta que ha de quedar abierta, por haber terminado la utilidad que allí tenía, es sacada de sus goznes y arrimada á la pared para que nadie pueda tener la duda de si á un anterior transeunte se le olvidó cerrarla.

Los *tubos* tienen por objeto ventilar las galerías sin salida ó las galerías en construcción. El aire, para circular, ha de disponer de un orificio de entrada

y de otro de salida, á no ser que la sección de la galería ó la excavación, vista su longitud, sea relativamente considerable para que la corriente saliente no impida la entrada y llegada al fondo á la corriente entrante. Para lograrlo, podemos disponer un tubo metálico que lleve hasta el fondo de la galería el aire puro y luego se le da salida por el exterior de este tubo, ó bien se abre una cuneta en uno de los ángulos inferiores de la galería, que, convenientemente cubierta con losetas ó piedras planas, hace las veces de tubo. Sin embargo, esta disposición es defectuosa, y en Inglaterra se prefiere abrir una galería paralela á la que se tiene que ventilar, de manera que van avanzando las dos á un tiempo y dejando sólo como pared común el espesor prudencialmente necesario para que no se derrumbe el techo. De esta manera se hace entrar el aire puro por una de las galerías y salir por la otra, para lo cual estas *galerías gemelas* se hacen comunicar por el fondo mediante una abertura que se practica en la pared de separación. Pero como que á medida que la perforación avanza quedarían los fondos sin ventilar, en cuanto se nota que el aire se vicia se abre una nueva puerta de comunicación y se tapia la anterior.

Para dividir la corriente en dos partes, con objeto de dirigir cada una de ellas por cada una de las galerías que se presentan en una bifurcación, se emplean los tabiques longitudinales ó parcialmente transversales para graduar de manera conveniente la intensidad que convenga en cada una de las dos

galerías. Estos tabiques llegan ó no hasta el techo y se construyen cómo los tabiques de que ya antes hemos hablado.

Otras veces conviene reunir dos corrientes que van casi al encuentro una de otra en una sola masa que se dirija perpendicularmente á la dirección primera, y esto se logra colocando un tabique sencillo ó poligonal para que el cambio de dirección sea más suave (figura 81) é impida el choque entre ambas corrientes encauzándolas al propio tiempo en la dirección que han de tomar.

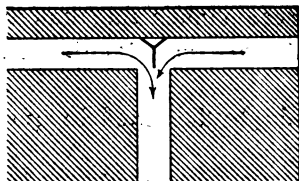
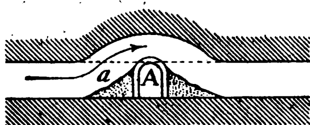


Fig. 81

También puede convenir que la corriente atraviese por una galería que está ventilada por esta misma corriente ó por otra distinta, y entonces no queda otro recurso que desviar la corriente menos importante, haciéndola pasar por encima ó por debajo de la principal (fig. 82); aunque si ha de haber comunicación entre ambas galerías no puede facilitarse el desvío de la corriente mediante los montoncitos *a* de tierra, pues la pared de la galería *A* debe quedar libre para poder abrir



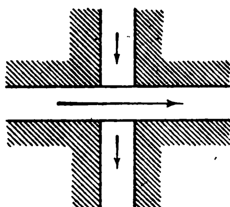


Fig. 82

en ella una puerta. En lugar de abrir una galería por encima de la principal, también podría atravesarse ésta en la región del techo, mediante un tubo metálico, tal como indica la fig. 83.

Precauciones que han de tomarse en los trabajos mineros para facilitar la ventilación

Al escoger el método de beneficio que nos ha de llevar á la más completa utilización de las riquezas minerales contenidas en un yacimiento, se ha de tener muy en cuenta las facilidades ó dificultades que el método en sí represente para los efectos de la buena ventilación de la mina. Así, por ejemplo, en minas en que sean frecuentes los desprendimientos de grisú, no convendrán los métodos que nos dejen grandes cavidades en las partes altas de las excavaciones, pues podrían acumularse allí cantidades peligrosas de él; y, por el contrario, en las que sean frecuentemente expuestas á irrupciones de anhidrido carbónico, no convendrán aquéllos en que queden sitios bajos de difícil ventilación.

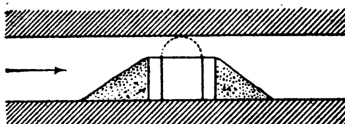


Fig. 83

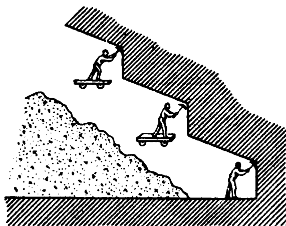


Fig. 84

Siendo más frecuentes los casos en que el aire

pernicioso tiene menor densidad que el puro, será, por lo tanto, conveniente en la generalidad de las ocasiones, modificar los ángulos y salientes de manera que el aire pueda fácilmente correr hacia lo alto. La fig. 84 nos representa un beneficio por testeros en que éstos tienen los ángulos modificados.

Aparatos de medición

La intensidad de la ventilación de las minas se mide mediante los anemómetros y los manómetros. Los primeros, nos dan la velocidad de la corriente; los segundos, la presión atmosférica en el lugar considerado; habiendo, tanto de una como de otra clase de aparatos, tipos registradores que nos marcan sobre una hoja de papel las indicaciones del aparato durante veinticuatro horas seguidas.

Muchas veces se efectúan estas mediciones sin ninguna clase de aparatos, de la manera siguiente: Se aplasta mediante un martillo una ampolla llena de éter colocada sobre un yunque; el ruido del choque advierte á otro operario colocado á una distancia conocida, para que principie á contar el tiempo que transcurrirá entre el momento en que haya oído el golpe y el en que sienta el olor del éter; dividiendo la distancia por el tiempo, tendremos la velocidad. Otras veces, si no ofrece peligro y la galería es recta, se efectúa la medición inflamando una pequeña cantidad de pólvora; dividiendo la distancia que separa á los dos operarios por el tiempo transcurrido entre el fogonazo y la

percepción del olor de la pólvora quemada, se tendrá la velocidad de la ventilación en aquel lugar.

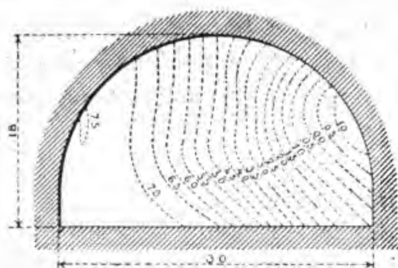


Fig. 85

Ha de tenerse presente, no obstante, que la velocidad de la corriente gaseosa no es igual en todos los puntos de la sección del orificio por donde pasa; y, además que el conocimiento de las curvas de igual velocidad, observadas en una sección, no pueden aplicarse en otro orificio de sección análoga; buena prueba de ello son las figs. 85 y 86, en que se diferencian de manera tan extraordinaria.

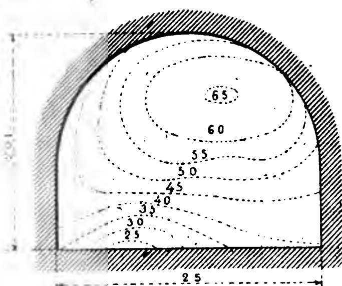


Fig. 86

Volumen de aire que ha de introducirse en una mina

No puede darse un número fijo que sirva de base para la ventilación, pues el volumen de aire que ha de introducirse en el minado depende de múltiples circunstancias que varían extraordinariamente de unos puntos á otros.

Es evidente que si no hay causas extraordinarias que alteren la pureza de la atmósfera interior de la

mina, no se necesitará tan gran volumen de aire como el que será indispensable para arrojar al exterior los gases nocivos desprendidos en ella.

De aquí se parte, algunas veces, para el cálculo del volumen de aire, ya que la cantidad de gas desprendido puede considerarse como proporcional á la extensión de los frentes de trabajo, y como á éstos también se les considera como proporcionales á la cantidad de mineral arrancado, se tomaba como base de cálculo el peso del mineral extraído; pero lo más general es partir del número de operarios. Por experiencias efectuadas en muy variadas circunstancias se ha obtenido la cantidad de aire que necesita cada individuo; no se crea, no obstante, que haya acuerdo entre los diversos experimentadores, pues algunos han obtenido cantidades sumamente distantes entre sí; y como á título de base para el cálculo que habrá de hacer el ingeniero, y para que pueda aplicar el número más á propósito para el caso particular de que se trate, damos á continuación algunos de los resultados de las observaciones á que nos referíamos [1].

Schondorf dice que la ventilación debe ser suficiente para que no pase del 1'5 por 100 el empobrecimiento del aire en oxígeno; ni aumenten en 0'5 y 0'6 por 100 el ácido carbónico y el grisú, respectivamente. Por lo demás, viene á suponer que cada hombre, incluyendo el consumo de oxígeno que hace la lámpara, necesita 50'5 litros de oxígeno por hora, y expele 38 litros de ácido car-

(1) **Datos tomados de las obras de Haton de la Goupillière y de Malo de Molina.**

bônico; y que un caballo absorbe 100 litros de oxígeno y expele 90 litros de ácido carbónico.

Por su parte, Callon reclama 0'750 metros cúbicos de aire por hora para cada individuo, y el triple para las caballerías.

Demanet considera necesarios 25 metros cúbicos de aire por hombre-hora, indicando que 14 de ellos son para el obrero propiamente dicho, 7 para su lámpara y 4 para combatir los miasmas. También cree que un caballo necesita el triple que un obrero.

M. T. Wills hace subir á 2'800 metros cúbicos por hombre y minuto el aire que ha de introducirse en la mina, señalando 0'013 para la respiración y lo restante para causas accesorias.

Según el general Morin, para ventilar una habitación cerrada se requieren 100 metros cúbicos de aire por hora y persona; que en las prisiones cada hombre necesita 50 metros cúbicos por hora; que en los talleres espaciosos ha de elevarse esta cifra á 60 metros cúbicos, y si son talleres en que se desprendan gases deletéreos, la aumenta hasta 100 metros cúbicos por hora, y los equipara, por lo tanto, á una habitación cerrada. Pero las condiciones de una mina son tan evidentemente peores que las que aquí hemos señalado, que no cabe duda que ha de ser todavía superior á esta última cifra el volumen de aire requerido por cada minero.

En general, es muy difícil señalar ni de una manera aproximada la cantidad total de aire que tendrá que introducirse en la mina. Sólo el estudio de lo que pasa en minas próximas ó de análogas condiciones á las que se cree presentará la explota-

ción que se va á emprender, podrá guiar algo al ingeniero, y aun para mayor garantía se colocará como si las circunstancias le tuviesen que ser todas ellas adversas. Como datos prácticos indicaremos que, por término medio, en las minas de Westfalia, de Inglaterra, de Bélgica y de Sajonia, se introducen 28'5, 186, 89 y 151 litros de aire por minero y por segundo.

Para que se comprenda la importancia que tiene el servicio de ventilación, considerado no fisiológicamente sino en sus efectos mecánicos, esto es, por los portentosos volúmenes de aire que se mueven, citaremos que en las minas de hulla de Seaham se inyectan diariamente en el minado 14.688,000 metros cúbicos, que pesan aproximadamente unas 19,000 toneladas.

Necesidad mecánica del principio de subdivisión de la corriente

Si estos tan grandes volúmenes de aire constituyeran una corriente única que, penetrando por el pozo de entrada, atravesara sucesivamente toda la extensión del minado para salir por el otro pozo, debería necesariamente ir animado de una velocidad extraordinaria para que pudiera pasar por las exiguas secciones que se da á las galerías. Ya hemos visto que esta velocidad, en lo referente al alumbrado tanto de las minas que tienen como de las que no tienen desprendimientos de grisú, no puede pasar de un muy bajo máximo, en éstas porque se apagarían las lámparas y en aquéllas porque podría correrse la llama al exterior y producir

la inflamación del grisú atmosférico. Además, tanto en unas como en otras sería arrastrada gran cantidad de polvo que, según hemos visto al principiar este capítulo, también presenta sus peligros. Y, por fin, en los desgraciados casos de explosiones de grisú se comunicarían éstas hasta las más apartadas regiones con una velocidad tan extraordinaria que aun las haría más mortíferas.

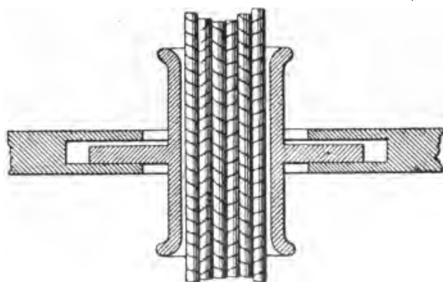


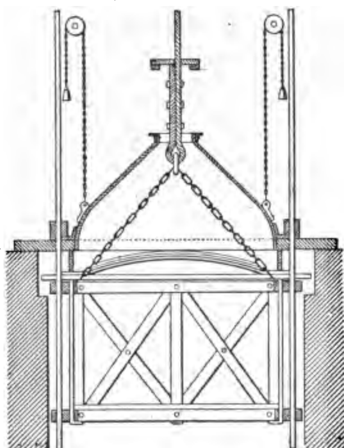
Fig. 87

Se impone, pues, por esta razón, además de las que ya antes hemos dado, la subdivisión de la corriente en otras varias parciales para que, aumentando por ello la sección, quede disminuída hasta los límites prudenciales la velocidad de la corriente ventilatoria.

Cierre del pozo en que se instala el ventilador

Se ha sentado que el pozo en que se instala el ventilador ha de cerrarse para que el efecto del ventilador sea eficaz; lo cual, si el pozo no ha de prestar ningún otro servicio que requiera que su boca se conserve

destapada, no causa ningún perjuicio y no ha de tomarse, por lo tanto, otras precauciones que las de que sea lo más hermético posible, y, en este caso, ninguno como el hidráulico; y las que exija la seguridad de la población minera.


Fig. 88

Pero si el ventilador ha debido instalarse en un pozo por el cual, por ejemplo, se verifique la extracción, no podría ésta verificarse si se cerrase de manera hermética dicha boca. En este caso se ha de dejar paso permanente al cable y paso periódico á la cuba ó jaula. De lo primero, da idea suficiente la inspección de la fig. 87. De lo segundo, las figs. 88 y 89 nos dan dos distintas soluciones; en la primera, al llegar la jaula á la parte superior levanta por sí misma una campana que cierra la boca; en la segunda, se observa que el pozo está continuado con una muy alta cámara cerrada, por cuyo techo, mediante la disposición de la fig. 87, pasa el cable, y al llegar la jaula á cierto punto de la altura de esta cámara, empuja hacia arriba dos compuertas laterales que permiten extraer lateralmente las vagonetas llenas cargadas é introducir las vacías que se han de descender. Al bajar nuevamente el monta-

cargas, se cierran automáticamente las dichas compuertas. Tanto la campana de la fig. 88 como las compuertas de la figura 89, están equilibradas para facilitar su movimiento.

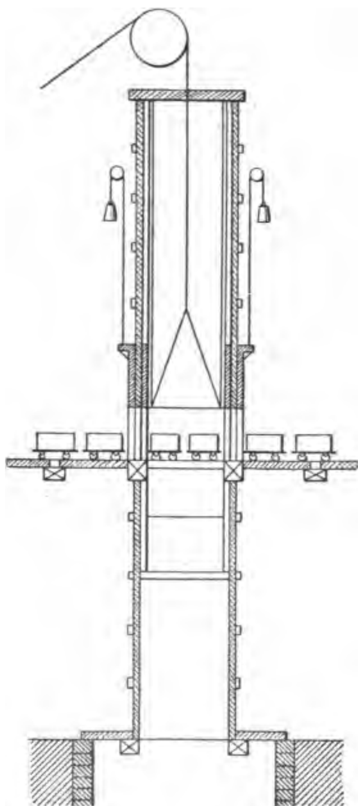


Fig. 89

Saneamiento de lugares infectos

Terminaremos con unas ligeras indicaciones sobre el caso particular en que la atmósfera impura está limitada en un recinto de pequeñas dimensiones.

Son dos los procedimientos puestos en práctica. El primero de ellos, consiste en la aeración del local mediante espuertas, sacos, etc., con objeto de que se produzcan corrientes que den lugar á la salida de parte del aire nocivo y á su consiguiente substitución por aire puro. De esta manera se consigue purificar paulatinamente la atmósfera hasta llegar á un grado en que ya sea respirable y puedan emprenderse, por lo tanto,

nuevamente los trabajos. Como ejemplo de este saneamiento podríamos citar la perforación de algunos pozos y galerías en terrenos en que existen emanaciones de gas carbónico, en los cuales los ayudantes agitan el aire del modo indicado mientras los mineros trabajan; y también se toma esta precaución para entrar en las cavidades naturales ó procedentes de trabajos antiguos, cuando después de haberse cerciorado por medio de la lámpara de la presencia del gas carbónico, se pretende entrar en ellas.

El segundo procedimiento está fundado en el empleo de absorbentes. Si en contacto de la atmósfera viciada colocamos determinados agentes capaces de absorber los gases nocivos, llegaremos también á hacerla respirable. Así, cuando un recinto está infestado por el ácido carbónico, basta hacer aspersiones de agua de cal, ó mejor de lechada de cal, para que ésta se combine con el gas carbónico de la atmósfera.

Ya se comprende que tanto uno como otro procedimiento no puede emplearse, por lo caro, en la purificación de atmósferas que se vicien de una manera continua, sino sólo como medios accidentales de saneamiento, ya que el primero es caro de mano de obra y sumamente fatigoso para los operarios que han de ponerlo en práctica, y que el segundo lo es por el coste del absorbente, que una vez saturado ha de tirarse.

Además de los dos medios dichos podríamos citar los fundados en fenómenos de ósmosis, que no han dado tampoco resultados bastante satisfac-

torios. Cuando el desprendimiento es continuo, también puede recurrirse á la canalización del gas desprendido, con lo cual se le puede echar directamente á la atmósfera, ó bien se le puede utilizar si hay lugar para ello.

Para abatir el polvo que muchas veces se levanta en proporción grande, basta con un regado abundante.

CAPÍTULO VIII

ALUMBRADO

Generalidades

Llegamos aquí á uno de los servicios que más importancia tienen en la explotación de minas, no sólo por ser ineludible sino porque representa un tanto por ciento no despreciable de los gastos de explotación y por la influencia que supone en el rendimiento de la producción.

No propagándose la luz más que en línea recta, sólo podrán quedar iluminadas por la luz solar las labores de los criaderos superficiales que se benefician á cielo abierto (cap. X), ó las labores subterráneas en que se recibe directamente dicha luz, como son, por ejemplo, los pozos que ponen en comunicación el interior de la mina con el exterior; en consecuencia, todo lo demás quedará en la obscuridad, por lo cual los mineros que han de circular por estos sitios obscuros deberán ir provistos de una luz para alumbrar su camino, puesto que tener alumbradas constantemente todas las galerías, pozos y demás lugares de la mina sería excesivamente one-

roso. Esta iluminación constante, este alumbrado fijo, como también se le llama, se utiliza sólo en las vías en que ha de haber continuo tránsito por ellas ó en los lugares en que permanentemente deba desempeñarse algún servicio.

Influencia de las condiciones de la mina y del método de beneficio sobre el sistema de alumbrado

Es evidente que el modo de alumbrar las labores subterráneas ha de ser consecuencia natural de las condiciones en que se haga el beneficio y también lo ha de ser de las que presente la naturaleza de la atmósfera que en la mina se respire. Respecto á este último punto cambia tan radicalmente el sistema de alumbrado minero, que requiere dediquemos especialmente nuestra atención á ello. Respecto á la primera causa, ó sea al método de beneficio, vamos á dar ya á renglón seguido algunas someras indicaciones que sean guía suficiente para los diversos casos que puedan presentarse.

Veremos, próximamente, que los métodos de beneficio de los criaderos pueden dividirse en dos grandes grupos que á su vez se dividen en otros dos grupos cada uno de ellos, resultando cuatro distintos sistemas de laboreo (cap. X). Y al describir los varios métodos que se originen, veremos que en unos se trabaja en frentes de escasa anchura, y que en otros los frentes son lo bastante amplios para permitir el trabajo simultáneo á varios operarios. Se desprende, pues, inmediatamente, que requerirá distinto modo de iluminar unos trabajos

y otros, pues mientras que en los pequeños frentes, en que sólo puede haber un operario, bastará con una lámpara que alumbre el pequeño radio en que se mueve un hombre, no importando que quede lo demás en obscuridad más ó menos absoluta, y, por lo tanto, que será necesario que el foco luminoso acompañe constantemente al operario, si es que éste cambia de lugar; cuando se trata de grandes frentes será más conveniente distribuir varios focos de intensidad variable según la extensión del espacio que ha de alumbrarse, colocándolos fijos en los puntos en que más utilidad pueda prestar su luz.

También varía la clase de alumbrado en las distintas dependencias ó lugares de las minas, siguiéndose en su aplicación una regla general, que puede anunciarse diciendo que en los puntos por donde se pase constante ó muy frecuentemente, ha de adoptarse alumbrado fijo, y que en los puntos en que no se ha de circular con frecuencia, el alumbrado ha de ser móvil ó accidental. De esta manera se aminoran en lo posible los cuantiosos gastos que representa este servicio, debiendo tenerse, no obstante, muy en cuenta que, para no ser tachados de pródigos, caigamos en una economía exagerada que podría acarrearnos no sólo perjuicios por el descenso que inmediatamente notaríamos en la producción, sino también accidentes desgraciados muy difíciles de evitar en una mina si no se alumbran suficientemente los lugares que puedan ser peligrosos, tales como la boca de los pozos que ponen en comunicación las distintas galerías de un mismo cuadro de labores.

Alumbrado para minas que no tienen desprendimientos de gases explosivos

Antiguamente, el alumbrado minero quedaba circunscrito al empleo de antorchas ó velas, confeccionadas con combustibles sólidos (grasas, sebo, etc.), ó bien al de candiles en que se quemaban combustibles líquidos de muy variadas clases, como por ejemplo, aceites. Ya los romanos se alumbraban de esta última manera, como lo prueban gran número de candiles de barro de diversas formas que se han encontrado en varias minas que ellos beneficiaron; de modo que, vistos los medios que se han empleado hasta no hace muchos años, hasta últimos del siglo pasado, medios que todavía se emplean hoy en algunas explotaciones, podemos afirmar que nada había progresado este servicio. Afortunadamente, en la fiebre de progresos de que parece estar dotada nuestra generación, mucho se ha estudiado en este asunto, y vemos hoy ciertas instalaciones que pueden ser citadas como modelos irreprochables.

Reminiscencias del primitivo candil de barro han sido los candiles de hojalata que, cual representa la fig. 90 en una de las múltiples formas que ofrecieron, se han empleado hasta hace poco y continúan, como hacíamos observar, empleándose todavía hoy. Constan, cual puede verse, de un cuerpo que recuerda al candil romano, provisto de dos orificios distintos, uno para la introducción del aceite y otro para dar paso á la torcida en cuyo extremo arde el aceite con llama más ó menos fuliginosa, y de un asa que tiene un gancho y unos pinchos

para, respectivamente, colgar ó clavar en las paredes el aparato, mientras el operario se dedica á sus labores. Acompaña también al candil un despabilador para atizar la mecha en las ocasiones, que no son pocas, en que no verificándose bien la afluencia de aceite al extremo de la mecha, conviene activarla para dar mayor intensidad á la llama. Este candil, que es un aparato bastante bueno de iluminación subterránea, presenta el inconveniente de desparramar demasiado la luz; inconveniente que, de todos modos, se cambia en ventaja cuando tienen que trabajar varios operarios juntos ó á poca distancia unos de otros, pues, en ocasiones, con una sola luz se alumbran todos.



Fig. 90

Los modelos análogos á éste puede decirse que sólo se diferencian en los detalles del orificio que alimenta la lámpara de aceite y modo de cerrarla, ó en el modo de fijar el despabilador para que al quedar colgado de la cadenita que le sujeta á la candileja no oscile libremente, ó en la forma de los ganchos que sirven para colgar el candil de las paredes de las labores. Diferéncianse también, aunque muy ligeramente, en la forma y dimensiones del orificio para la mecha. Sólo unos pocos modelos poseen diferencias notables en la forma del cuerpo ó depósito de aceite, pues en vez de la pronunciada forma

baja ó aplanada la tienen notoriamente alta, como la lámpara de Mansfeld, que consta de una especie de cilindro de altura igual á una y media veces el diámetro, provista de un pico á estilo de tetera que parte de cerca la base inferior, para la mecha; todo ello, como ya se sobrentiende, con el correspondiente gancho ó asa.

Modernamente, para alumbrar por medio del aceite, se idearon en Francia unos candiles que se generalizaron rápidamente por todo ella y gran parte de España. Nos referimos al candil que nosotros llamamos de *cebolla* y los franceses *rave*, de construcción sencillísima y de consumo de aceite muy limitado. El aparato se construye de hojalata recia ó de hierro batido; tiene forma lenticular (fig. 91) y va suspendido de un asa que le permite el giro libre alrededor de los puntos de suspensión; en puntos opuestos del casquete superior van instalados los orificios de alimentación y de combustión, y del gancho ó *garabato* cuelga, mediante la correspondiente cadenita, la despabiladera. En conjunto, no pasa de 18 centímetros la altura total y no llega á 10 el diámetro de la lenteja, de manera que las dimensiones resultan muy á propósito para la circulación en las minas en que la altura de las lámparas no puede pasar de muy bajo máximo,



Fig. 91

porque al subir ó bajar el minero las escaleras, que frecuentemente van colocadas en las galerías y pozos, golpearía los peldaños con la parte baja del candil. Por otra parte, y como demostración del incremento que ha tomado su empleo en pocos años, diremos que su construcción sólida le hace más resistente que los demás candiles á los golpes que se le puedan dar inadvertidamente, y no puede verterse el aceite aunque se ladee considerablemente; si bien está comprobada la desventaja de dar menos luz que los candiles ordinarios de la minería española porque su mecha está más comprimida y sufre proporcionalmente un consumo mayor de aceite por la frecuencia con que el obrero ha de atizar la mecha. Candiles semejantes á éste, pero de mayores dimensiones, se emplean también para el alumbrado fijo.

Dadas las condiciones especiales en que ha de efectuarse el trabajo ó bien por el solo objeto de dejar más expeditos los movimientos del minero, se pensó en fijar la lámpara en su sombrero como lugar en que menos le estorbaba, y en que, por estar bastante elevada del nivel del suelo, se repartía mejor la luz á su alrededor. La forma del depósito de estos candiles suele ser muy variada, pero actualmente la lenticular, como la del de cebolla antes descrito, es la más frecuente; su diámetro no pasa de unos 6 centímetros, y en el casquete de la base tienen soldada una fuerte aguja ó pincho que se introduce en un ojal que ya expresamente tiene una correa que rodea el sombrero del minero.

De este modo, los obreros que han de circular por lugares obscuros con ambas manos ó brazos ocupados en uno ú otro objeto, por ejemplo los braceros, se alumbran perfectamente y pueden, por lo tanto, rendir un trabajo mayor con menor molestia; y la condición de ser fácilmente separable del sombrero en que va apoyado permite, además, que al llegar el minero en algún sitio en que haya de estar durante un rato algo largo, lo desensarte del sombrero y lo clave en las paredes ó fortificación.

Todas estas lámparas presentan el inconveniente de no poder concentrar la luz en una dirección determinada, como conviene en muchos casos, y con este objeto se han construído lámparas provistas de reflectores que son de utilísimos resultados, en especial en el alumbrado fijo ó permanente. Constan todas ellas de un depósito de aceite en el que va implantado un reflector de hojalata, y son de dimensiones y formas variadas según el uso á que se destinen; así, en las minas del Cornwal (Inglaterra) se usa una lámpara ó candil portátil para aceite de colza, pudiendo, á voluntad, fijarse en el sombrero ó llevarse en la mano, ó apoyarse en cualquier superficie plana; otras llevan un gancho en la parte posterior, ora del reflector, ora del cuerpo de la lámpara, para poderla fijar á un ojal del vestido ó colgarla de un cordón pendiente del cuello, ó dejarla colgada de asas á propósito en los lugares de las galerías en que hayan de servir de luz fija.

Es accidente común en las minas que las corrientes de aire apaguen las luces, ó cuando menos que las hagan oscilar en tal grado que haga dificultoso el trabajo á la luz oscilante de una lámpara de alumbrado ya exiguo de por sí. Esto obliga á que el obrero deba utilizar los utensilios de producir fuego de los que es conveniente que ya vaya provisto en todas ocasiones con este exclusivo objeto. De aquí vino la idea de construir lámparas en que, como indica la fig. 92, la llama quede resguardada con unos cristales de las corrientes naturales de aire, ó de las que el obrero produce al trasladarse de uno á otro lugar de la mina con el natural balanceo que comunica á la lámpara por el movimiento del brazo. Se aumenta así, en gran manera, la intensidad luminosa para un mismo consumo de aceite, y se comprende desde el momento que no habiendo corrientes de aire que enfríen excesivamente la llama, ó que, por el contrario, habiéndolas que por aportar exceso de comburente, la llama se azulee, tendremos una luz sin oscilación alguna, ni cambios de color, ni humo.

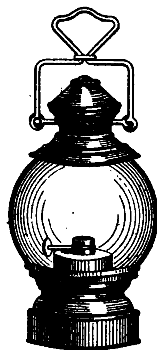


Fig. 92

Se comprende, también, que las lámparas de este ó análogo modelo han de estar muy expuestas á percances en lo que al vidrio se refiere, de donde la necesidad de protegerla en esta tan quebradiza parte por medios que, sin menguar la luz, den suficiente seguridad de que los choques que

pueda recibir no han de llegar al cristal. La fig. 93 nos muestra un modelo muy usado en los Estados Unidos, en que se emplea el petróleo como combustible, y que es de utilidad manifiesta cuando se necesita un aparato de peso y resistencia, como, por ejemplo, en las cortaduras de los pozos.



Fig. 93

No dejaremos de citar las lámparas con cristal y reflector, algunos de cuyos modelos son de servicios incontestables, ni tampoco la *wind lamp* inglesa ó norteamericana, ni la linterna sorda, que permite concentrar fuertemente en una dirección dada toda la potencia luminosa de la llama.

Alumbrado en las atmósferas explosivas

Con seguridad que son las minas los servicios ó empresas industriales que suministran un mayor tanto por ciento de mortalidad violenta. Tres son las causas que á ello contribuyen, y si bien todas ellas pueden ser combatidas con relativa facilidad, la extremada sordidez de algunas empresas por una parte y los descuidos ó imprudencias de los operarios por otra, influyen en que no se alcancen los resultados que fueran de desear. Son estas causas la defectuosa ó, mejor dicho, perniciosa atmósfera respirable de las minas; los derrumbamientos imprevistos y las

explosiones que tan á menudo han de lamentarse. Es de estas últimas que vamos á tratar aquí incidentalmente al describir los distintos sistemas de iluminación subterránea.

Es por demás sabido, y no hemos de hacer hincapié en ello, que las mezclas del aire con determinados gases inflamables constituyen atmósferas detonantes de combustibilidad más ó menos rápida. Y por desgracia en algunas explotaciones mineras, principalmente en las minas de hulla, se desprende en ocasiones uno de los gases que, al mezclarse con el aire en ciertas proporciones, constituye uno de los peligros más intensos y de más desastrosos efectos.

El hidrógeno protocarbonado, ó más vulgarmente el *grisú*, se encuentra aprisionado en la masa de la hulla á un estado de compresión tan considerable, que es claramente perceptible el ruido que se produce al quedar al descubierto alguna fisura ó hendedura ó grieta, que comunique directa ó indirectamente con la masa principal de gas; ruido de sobras conocido por los mineros que espontáneamente le bautizaron llamándole *música del gas* ó diciendo que el *grisú canta*. Este ruido es semejante al de la lluvia ó al del que produce el agua pocos momentos antes de hervir, y supónese debido á la decrepitación de multitud de partículas de hulla extremadamente tenues al desprenderse ó saltar empujadas por la presión del gas, que quiere escapar de los poros del carbón; presión que en algunos casos se ha calculado ser igual á más de 20 atmósferas, citándose una medición en que

alcanzó la enorme magnitud de 33 atmósferas. Así se comprenden sin esfuerzo los desprendimientos instantáneos de volúmenes considerables de gas, que son extraordinariamente peligrosos por no dar tiempo para la huída y por la proyección de grandes masas de carbón desmenuzado lanzadas con velocidad extraordinaria.

En otras ocasiones no es la masa de hulla la que aprisiona el grisú, sino que, desprendiéndose éste de una manera natural, se ha almacenado en determinados lugares. En efecto; el carbón suelta el grisú en cuanto se pone al descubierto, en cuanto se pone en contacto con la atmósfera; por lo tanto, si naturalmente el techo del yacimiento es poroso, permeable, se desprenderá el gas como si la superficie de la hulla estuviere libre, y se desparramará por los terrenos superiores que quedarán impregnados de él; y si este terreno presenta huecos ó comunica con grietas, en ellas podrán acumularse cantidades incalculables de gas sometidas á presiones fabulosas, constituyendo los *sacos* ó *bolsas de grisú*.

No son sólo las minas de carbón las que suministran tan peligroso gas, sino que también se han encontrado algunas de sal, de azufre, de galena, de hierro, etc.; y si bien se recuerda lo que llevamos dicho en los primeros capítulos de esta obra sobre la presencia simultánea de determinados minerales, no nos extrañará el caso. Y si bien puede ser de difícil explicación el que la galena y el hierro vayan acompañados de grisú, conste sólo que se le supone procedente de terrenos más profundos.

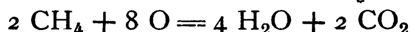
Propiedades del grisú

El grisú no está sólo compuesto de hidrógeno protocarbonado; sí que el formeno es su principal constituyente, pero también contiene cantidades á veces relativamente considerables de ácido carbónico, de oxígeno y de nitrógeno que pueden hacer bajar la contenencia en CH_4 desde casi 98 por 100 hasta sólo 47 por 100. Por su parte, la mayor proporción de CO_2 encontrada es de 6 por 100. También parece que, en ocasiones, lleva trazas de otras substancias que le comunican propiedades especiales. De estas consideraciones ya se desprende una observación importantísima, pues debiéndose hallar su densidad (0'69) comprendida entre la del aire (despreciando el ácido carbónico que contenga la mezcla) y la del formeno puro que es 0'56, es en las partes altas de las cavidades, galerías, etc., donde se irá acumulando el gas que se desprenda, á no ser que el aire en la cavidad en cuestión esté muy agitado, que entonces se forma una mezcla de aire y grisú que no se desdobla en sus componentes á pesar de que á la agitación suceda un prolongado reposo. De todas maneras, siendo la acumulación en los techos el caso más frecuente, se podrán evitar funestos accidentes si se toma la precaución de llevar bajas las lámparas para que queden continuamente sumergidas en una atmósfera inofensiva.

El grisú es incoloro, pues los ahilamientos blanquecinos que en ciertos casos se observan en los lugares en que se desprende grisú, son debidos, en opinión de Dumas, á diferencias de refrangibilidad,

al igual de lo que sucede al mezclarse dos líquidos de diferente densidad, ó diferentes concentraciones de un mismo líquido. Tampoco tiene olor ni sabor. No tiene, consiguientemente, ninguna propiedad que le haga perceptible directamente á nuestros sentidos. No se le considera venenoso, pero sí asfixiante, aunque, á no ser que sea en algún accidente de los innumerables á que ha dado lugar, ó á que la atmósfera haya sido removida, éste no es grave mal, por cuanto, de distinta manera que hemos visto sucedía en las atmósferas cargadas de ácido carbónico, al caer al suelo, desvanecido, el individuo atacado por la asfixia de este gas, se encuentra transportado en una atmósfera libre de él, esto es, más pura é inofensiva.

La propiedad que más interesa conocer es su inflamabilidad, que tiene lugar á unos 780°. En su combustión completa nos produce dos cuerpos gaseosos que son el ácido carbónico y el vapor de agua;



$$2\ CH_4 + 8\ O = 4\ H_2O + 2\ CO_2$$

y, según sean las condiciones en que esta combustión se verifique, así son de variables los efectos que produce. Ante todo, para que se inflame es necesaria la presencia de una llama, si bien es de observar muy particularmente que la presencia de un cuerpo en ignición, de un cuerpo incandescente, puede también en algunos casos determinar su inflamación, como ha podido comprobarse con las chispas eléctricas y con las producidas por el choque del acero contra el pedernal.

Cuando se encuentra mezclado con el aire, las proporciones de éste influyen de extraordinario modo sobre la inflamabilidad. Así, por ejemplo, cuando el grisú sólo constituye tres ó cuatro centésimas partes del volumen total, no se inflama; pero en pasando de esta proporción, la llama de la lámpara del minero, ó, en general, la llama que se encuentre en esta atmósfera, principia á *señalar* la presencia del grisú, pues se rodea de una aureola azulada, y se alarga produciendo humo. En llegando el grisú al 6 por 100, la llama se ha alargado mucho y la aureola es muy intensa y extendida; con el 7 ú 8 por 100, la atmósfera ya se inflama y se propaga la llama, aunque muy lentamente, de unos lugares á otros, consumiendo todo el grisú que el aire lleva mezclado. En alcanzando el 12 ó 14 por 100, la inflamación del gas y la propagación de la llama es instantánea, produciéndose una terrible explosión. Y si ahora suponemos que todavía va aumentando la proporción de grisú, veríamos reproducirse en orden inverso los fenómenos citados, de manera que con 20 por 100 de grisú sucede lo mismo que cuando hay sólo 6 por 100; y si la proporción llega al 30 por 100, la lámpara se apaga.

No dejaremos, no obstante, de hacer notar con insistencia que la presencia de otros gases puede modificar casi radicalmente estos resultados, pues una proporción determinada de ácido carbónico ó de nitrógeno disminuyen bastante la rapidez de la inflamación y la intensidad de sus efectos.

Precauciones que se tomaban antiguamente en las minas cuya atmósfera era explosiva

Compréndese, pues, sobradamente, los esfuerzos que han debido hacerse para contrarrestar las desastrosas consecuencias que la inflamación del grisú ha necesariamente de producir. Antiguamente, no se había encontrado otro remedio que inflamar intencionadamente el gas que se hubiese acumulado cada determinado período de tiempo insuficiente para que su cantidad alcanzase una proporción temible; pero, esta operación, que ya de por sí era muy peligrosa, pues nadie podía asegurar si el máximo se había alcanzado, y que la efectuaban unos operarios, á quienes denominaban *penitentes,* paseando por el techo de las galerías y cámaras de trabajo una llama que ardía en el extremo de una larga pértiga, y tendiéndose ellos boca abajo en el suelo para que las llamas no les alcanzasen, tenía el grave inconveniente de viciar extraordinariamente la atmósfera con un gas que si bien no tanto, no por ello dejaba de ser peligroso por sus propiedades asfixiantes, y debía retardarse la reanudación del trabajo en aquellos lugares hasta que la ventilación, que también en aquel entonces era muy defectuosa, los purificaba suficientemente.

Primeras lámparas de seguridad

Era en Inglaterra dónde, como más interesados en esta cuestión, por el gran desarrollo que allí han alcanzado las explotaciones hulleras, más se trabajaba en la resolu-

ción del problema. Varios ensayos se hicieron, y entre ellos citaremos el alumbrado por medio de las chispas producidas al chocar repetidamente una pieza de acero contra un pedernal, y también una lámpara alimentada con una corriente de oxígeno puro; pero resultados prácticos no se obtuvieron hasta que Davy y Stephenson inventaron simultáneamente, y sin que el uno tuviera conocimiento de los trabajos del otro, la lámpara que, por capricho de la Fama, ha sido bautizada con el solo nombre del primero. No expondremos aquí la teoría de la acción de las telas metálicas sobre las llamas; su efecto es el de impedir el paso de la llama á su través, siempre que el tejido sea de malla suficientemente estrecha, pues las de malla ancha también dejan pasar la llama, lo cual es debido á que la materia de la tela metálica enfría la llama y, por tanto, ésta no puede subsistir por falta de temperatura.

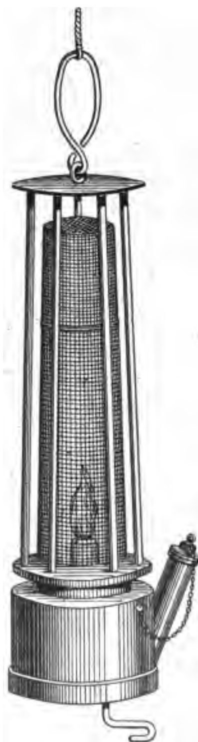


Fig. 94

La primera lámpara de Davy se reducía á un cilindro de tela metálica, que tenía una de sus bases también de tela metálica, y la otra estaba obturada por una masa de arcilla, que era atravesada por la vela que nos suministraba la luz. De esta manera

la llama de la vela sólo podía comunicar con el exterior á través de las mallas de la tela metálica.

Más adelante se construyeron ya lámparas más perfeccionadas, en que ardían combustibles líquidos; pero no por eso dejaban de tener sus inconvenientes. Así, por ejemplo, en la representada en la fig. 94 la luz era muy exigua, pues los alambres de las mallas la interceptaban en tal cantidad que sólo dejaban pasar

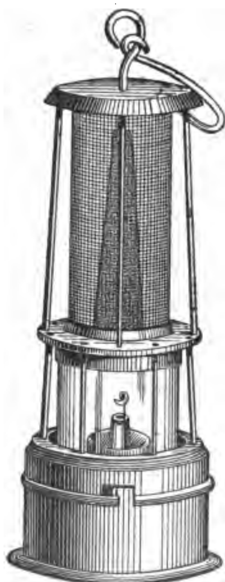


Fig. 95

$$\left(1 - \frac{m}{10^n}\right)^2$$

siendo m el número de alambres de grueso n por centímetro. De modo que siendo, generalmente, 14 ó 15 para las telas de alambre de cobre el número de mallas por cuarto de centímetro, la luz aprovechada era sólo próximamente el 40 por 100. De aquí vino la idea de substituir la parte baja de la tela por un cilindro de cristal, con lo cual se aprovechaba la totalidad de la luz, sin menguar por ello la seguridad de que la llama se propagase al exterior.

Por otra parte, habiéndose observado, como ya evidentemente se deduce de la teoría, que una tela que esté enrojecida no puede impedir que la llama se corra al exterior, y, además, como que pudiera por

algún golpe, por oxidación espontánea ó por otra causa cualquiera, haber saltado alguna porción de alambre, alguna malla, ó haberse éstos apartado, y, por lo tanto, que la tela presente algún hueco excesivo, lo cual tampoco nos conservaría las condiciones de seguridad requeridas por el medio en que ha de funcionar la luz, se vió la necesidad de construir lámparas con doble tela, porque si una de ellas, durante el uso, se echaba á perder, siempre hubiese la otra para garantir la seguridad, lo cual redundaba también en las lámparas sin cilindro de cristal á que menguase todavía más la luz, é indujo con mayor necesidad á imponer la construcción de lámparas con cilindro de cristal inferior.

Lámparas de seguridad modernas

Nunca acabaríamos de reseñar si continuáramos citando las múltiples variaciones aplicadas á las lámparas de seguridad; vémonos, pues, obligados á saltar de golpe á los más perfeccionados tipos, que son los actualmente admitidos por los Estados europeos; pero como aun así se alargaría mucho nuestro trabajo, describiremos únicamente la lámpara Müseler, que es el tipo reglamentario belga, y la lámpara Marsaut, que previene algunos inconvenientes que presenta la Müseler.

En la lámpara Müseler el aire desciende por entre la tela *A*, que es de 144 mallas por centímetro, y la chimenea *B*, que es de plancha de hierro no perforada, atraviesa el diafragma agujereado *C* y llega á la mecha, desde la cual los productos de la com-

bustión se elevan por el interior de la chimenea, saliendo al exterior por la parte lateral y superior de la tela *A*. De esta manera no se puede comunicar la llama al exterior, puesto que viéndose el aire frío de la atmósfera obligado á recorrer el camino indicado á través de la tela y del diafragma y no saliendo por la chimenea más que productos ya quemados, debería la llama atravesar un doble obstáculo que es el diafragma, primero y la tela después.

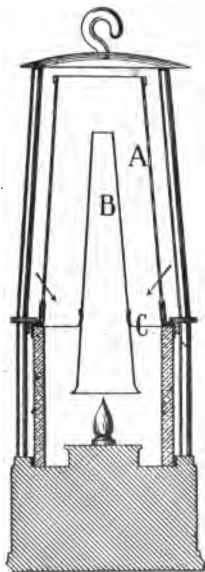
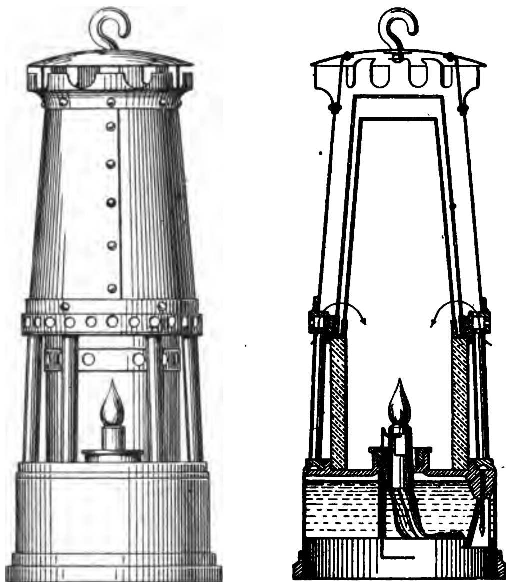


Fig. 96

Tiene la lámpara Müseler la ventaja de apagarse en cuanto se encuentra en una atmósfera de grisú; con ello, pues, se evita el peligro de que pueda comunicar el fuego al exterior y determinar la explosión de la atmósfera peligrosa. Si bien también, á veces, se apaga aunque la atmósfera no contenga grisú, por ejemplo, cuando se inclina excesivamente la lámpara por quedar suprimido el tiro que atrae al aire exterior hacia la mecha y cuando se mueve rápidamente la lámpara en sentido vertical de arriba abajo en que, aun existiendo el tiro interior, no se da tiempo al aire de penetrar en la lámpara.

No obstante, se ha observado que esta lámpara puede en algunas ocasiones comunicar su llama al

exterior; tales son, por caso, si se la inclina excesivamente, ó si sufre la acción de una corriente de aire en sentido de arriba abajo. Además, también puede determinar la explosión en el caso de que recono-



Figs. 97 y 98

ciendo si la parte alta de una galería contiene grisú, se baja la lámpara á su posición primera antes de que se haya extinguido la llama.

Sin detenernos en analizar el porqué de estos singulares fenómenos, descubiertos algunos de ellos por Marsaut, modificó éste sucesivamente la lámpara Müseler hasta transformarla completamente y llegar á la que lleva su nombre (figs. 97 y 98). Suprimió

el diafragma que substituyó con una segunda tela concéntrica á la primera y elimina la chimenea y, además, preserva la tela metálica de las corrientes de aire, disponiendo á cierta distancia una envolvente metálica con orificios sólo en su parte inferior y en su parte superior.

Acompañan, además, á toda lámpara una diversidad de detalles cuyo objeto es ó hacerla más práctica ó darle más seguridad.

Así el *portamecha* tiene que poder subir ó bajar á voluntad del minero para que éste pueda aumentar ó disminuir la cantidad de luz.

Respecto á la *mecha,* es de recomendar la mecha plana porque no ahuma tanto como la redonda; y, en cambio, es de recomendar ésta porque reparte más uniformemente la luz.

El *atizador* es un alambre de hierro que comunica desde el exterior hasta la región de la mecha, de manera que elevándolo ó haciéndole girar sobre sí mismo, puedan desprenderse las aglomeraciones carbonosas que se acumulan en el extremo de la mecha. Debe aquí observarse que el tubito que sirve de paso al alambre ha de ser de diámetro tal que no pueda haber por él comunicación de la llama con el exterior.

El *cristal* que rodea á la mecha substituyendo á la antigua tela, también ha sido objeto de curiosas experiencias. El cristal cilíndrico reparte la luz uniformemente. El cristal prismático da máximos de luz correspondientes á las caras planas, y mínimos correspondientes á las aristas, de modo que em-

pleando prismas de igual número de aristas que montantes tenga la lámpara y haciendo coincidir éstas con aquéllas, tendremos un mejor aprovechamiento de la luz; pero tiene la desventaja de ser más quebradizo que el cilíndrico por la desigualdad de las contracciones y dilataciones que le comunican las diferencias de temperatura. Tampoco ha tenido aceptación la forma abombada del cristal, ni otras que se han propuesto.

El *sistema de cierre* de la lámpara es indudablemente lo que más ha preocupado á los inventores y constructores. De nada serviría la lámpara más perfecta si el obrero pudiese abrirla con facilidad y sin dejar en la lámpara señales evidentes de haber sido abierta; pero, por otra parte, la lámpara ha de poder abrirse ó cerrarse fácilmente en la lampistería de la explotación para limpiarla y alimentarla y componerla con la rapidez que nos impone el tener que cuidar de varios centenares de ellas cada día. Son, pues, éstas, dos condiciones que parecen incompatibles.

Varios son los sistemas propuestos, y de ellos daremos una ligerísima idea.

Aillot ha logrado hermanar ambas condiciones efectuando el cierre mediante un tornillo que ha de dar 1,200 vueltas antes de que suelte la tuerca; de modo que el obrero debería dar 1,200 vueltas al tornillo, lo cual acabaría con su paciencia, mientras que en la lampistería un juego de engranajes permite efectuarlo con gran rapidez; otras veces se sueldan cada vez las dos partes de la lámpara, lo cual, en la lampistería, puede efectuarse á razón de más de un centenar de lámparas por hora, siendo

todavía más rápida la operación de desoldar; en otros sistemas, al abrirse la lámpara se apaga la llama; otras lámparas no pueden abrirse sino mediante unos potentes imanes que mueven unas piezas interiores que son las que cierran; en otras, se efectúa el cierre mediante un marchamo de plomo que, una vez cerrada la lámpara, no puede manejarse desde el exterior; en otras, se ponen unos candados de letras especiales, etc. Y, por fin, la ley impone severas penas al obrero que abre la lámpara que se le ha entregado.

Todas estas precauciones no son bastantes todavía para evitar las múltiples desgracias que ha ocasionado la imprudencia de los mineros. El deseo de arreglar la lámpara si ésta no funciona bien, ó el de alumbrarse mejor con la llama al descubierto, el querer dar con la llama de la lámpara fuego á los barrenos, ó el que en este caso podríamos calificar de criminal deseo de fumar y encender en la lámpara el cigarro, pues les está prohibido el llevar sobre sí útiles con qué hacer fuego, inducen al obrero á contravenir, de manera más ó menos descarada, las órdenes que por su seguridad se le han dado; no hay sistema de cierre que pueda calificarse de *absoluta* seguridad, pues el minero, derrochando ingenio y paciencia, logra abrir su lámpara al cabo de un tiempo más ó menos largo de haber sido inventado el cierre.

Organización de la lampistería

La organización de la lampistería de una explotación minera que sea

propensa á desprendimientos gaseosos peligrosos, ha de ser perfecta. Las lámparas han de estar numeradas y colgadas en un tablero, cuyos clavos lleven el número igual al de la lámpara, y ésta ha de entregarse al minero limpia, alimentada, encendida y cerrada, á cambio de la chapa que le identifica como obrero de la explotación y que se cuelga en el clavo que correspondía á la lámpara. Si el minero no la encuentra conforme, tiene el derecho de rehusarla, y si el lampista considera que *es de recibo* y, por tanto, no quiere dar otra en su lugar, decide la duda el capataz á cuyas órdenes esté el minero, á cuyo efecto se le llama.

Al terminar su trabajo el minero, al salir, devuelve á la lampistería su lámpara á cambio de la chapa que le entrega el operario lampista, quien observa si presenta señales de haber sido abierta ó de haber intentado abrirla, en cuyo caso debe comunicarlo inmediatamente á sus superiores para que se imponga el correspondiente correctivo al minero.

Se comprende que esta comprobación ha de ser rigurosísima. Tanto es así, que en muchas minas peligrosas aun hay un tercer empleado que ha de revisar la lámpara, el cual, colocado en la entrada de la mina, ó de las regiones peligrosas, inspecciona la lámpara de todos los mineros que van entrando y hace cambiar las lámparas que no encuentra, á su parecer, en buen estado.

La buena organización de la lampistería es de suma importancia, no sólo para prevenir los acci-

dentes desgraciados, sino también para acudir en auxilio de los que hayan quedado incomunicados ó heridos por alguna explosión ó derrumbamiento, y para recoger los cadáveres de los que hayan fallecido. Y, en efecto, por el número de lámparas que faltan en los correspondientes tableros, después de haber salido de la mina todos los operarios que han podido hacerlo, se sabe inmediatamente los operarios que en ella quedan encerrados, y por el número impreso en las chapas ó contraseñas se conoce, además, el lugar en que probablemente se encuentran. Esta regularidad de servicio es tanto más de apreciar cuanto en los primeros momentos que siguen á una catástrofe todo es confusión.

La limpieza de las lámparas va á cargo de la lampistería; pero ha de observarse, no obstante, que en algunas minas inglesas se entrega al minero la parte superior de la lámpara para que la limpie en su casa.

No entraremos en detalles respecto al modo de efectuar esta limpieza, para no salirnos de los límites que nos hemos impuesto, y terminaremos estas notas sobre el alumbrado portátil con una observación final sobre el combustible empleado en las lámparas.

Es costumbre que la Empresa minera suministre el aceite que el obrero necesita para alumbrarse; pero el consumo excesivo que algunos obreros hacen de él por el poco cuidado que tienen de su lámpara, indujo á algunas Compañías á aumentar el destajo con la condición que el obrero se pagaría

el combustible. No abogaremos por uno ni por otro sistema, pues ambos tienen sus ventajas é inconvenientes, y sólo las condiciones de localidad, y de organización pueden hacer pesar más unas que otras.

Alumbrado fijo

Ya se ha indicado ligeramente dónde convenía colocar alumbrado permanente, y, al propio tiempo, se indicó que casi todas las lámparas de alumbrado portátil, modificando algunas de ellas en algún detalle, servían para esta clase de alumbrado. Por lo general, son de mayores dimensiones y dispuestas de manera que puedan apoyarse ó colgarse convenientemente según sea el soporte en que se han de colocar; y como que no han de ser constantemente llevadas y traídas de unos lugares á otros, se suelen construir más reforzadas para aumentar su duración.

Dejaremos este punto como suficientemente tratado, y vamos á ver los métodos modernos de alumbrado fijo.

El alumbrado permanente se obtiene mediante el empleo del gas del alumbrado ó del de la electricidad, y en algunas ocasiones con el gas de las hulleras, para lo cual se le canaliza desde el surtidor por donde mana hasta el exterior, donde se almacena en grandes gasómetros.

No hay que mencionar la gran comodidad que representa el uso de los gases como combustible. Fabricados en el exterior y almacenados en grandes

gasómetros, es canalizado hasta los lugares de consumo, en que se le quema en mecheros á propósito, ahorrando así el transporte de las lámparas y el oneroso cuidado que éstas suponen.

Las canalizaciones han de ser convenientemente elegidas y cuidadas, pues las humedades que en toda mina existen las destruirían con rapidez si fuesen de materiales oxidables. Para las tuberías de diámetros ínfimos se emplea, como en la vida usual, el plomo. También han de vigilarse mucho los escapes de gas que tan comunes suelen ser y que constituyen el principal inconveniente de los combustibles gaseosos por el peligro que representan; peligro que, en este caso, es mucho mayor por tratarse de recintos que no comunican directamente con la atmósfera y en los cuales pueden formarse, por su acumulación, mezclas explosivas que acarrearían desastrosos efectos si una llama viniera en su contacto.

La electricidad es, quizás, más cómoda que los mismos combustibles gaseosos. Ha de observarse, de todos modos, que su empleo presupone un peligro constante en las minas en que se hayan observado ó se teman desprendimientos de grisú, porque siendo muy frecuentes los casos, y aquí todavía lo son más por las humedades, en que se rompe el alambre conductor y salta una chispa, esta chispa puede inflamar, como se ha demostrado en repetidas experiencias, las mezclas explosivas que pueden haber presentes.

Tiene, por lo demás, la electricidad, otras dos ventajas muy grandes. La primera y principal, es que no se desprenden gases nocivos ni impurifica la atmósfera, pues no hay combustión si la lámpara es de incandescencia, ó la hay mínima si se trata de un arco voltaico; y la segunda, es que no se desprende tanto calor, lo cual facilita la respiración y no requiere, por lo tanto, y al igual que en la ventaja primeramente citada, una tan enérgica ventilación.

Por último, también podremos citar como ventajosa, la condición de que mediante hilos flexibles pueden llevarse accidentalmente, de momento, las lámparas de incandescencia, hasta los más apartados rincones, por intrincado que sea el recorrido que deba hacerse y por inaccesible que sea á todas las demás lámparas.

En cambio, no se conoce todavía ninguna lámpara eléctrica absolutamente portátil, esto es, ninguna lámpara eléctrica portátil independiente de toda canalización eléctrica.

CAPÍTULO IX

CONTENCIÓN DE AGUAS. — DESAGÜE

I

CONTENCIÓN DE AGUAS

Las aguas subterráneas procedentes, ya de la filtración de las aguas que normal ó accidentalmente corran por la superficie, situada encima de la explotación, ya de lugares más ó menos lejanos, han de mortificar, innegablemente, de una manera grande á los trabajos mineros. Si al abrir un pozo ó una galería, ó al arrancar el mineral, damos con un manantial, exiguo ó abundante, llegaría á inundar por completo el minado hasta el nivel hidrostático de que proceda, á no ser que encontrase alguna salida natural que condujese el líquido hasta otros lugares en que no nos molestase. Pero, de todos modos, tanto en uno como en otro caso, habría inundación más ó menos importante que nos obligaría á abandonar regiones quizás las más ricas del minado. Vémonos, pues, obligados á evitar estas aguas, y, si esto no nos es posible, á combatirlas hasta vencerlas; siendo enemigo tan común que casi pueden con-

tarse con los dedos de las manos las minas que no han sido visitadas por dicho elemento.

Los medios empleados para combatir las aguas superficiales y las aguas subterráneas, son distintos. Las primeras, ó están á la vista ó podemos preverlas estudiando concienzudamente las probabilidades más ó menos grandes de posibles avenidas ó inundaciones, por la observación de la topografía del terreno en un radio relativamente pequeño, ó de las cuencas hidrográficas de los ríos que circulen por el país, y consultando los anales meteorológicos en lo referente á las lluvias de la localidad que constituyen el sistema hidrográfico de la comarca. Sabremos, por lo tanto, la importancia de los efectos que debemos prevenir, y podremos aplicar, en consecuencia, los medios preventivos que la experiencia nos sugiera. En cambio, las aguas subterráneas no pueden adivinarse, y sólo en el caso en que poseamos un conocimiento muy exacto de la estratificación local, ó en que haya otras explotaciones lindantes, podremos formarnos una idea remotamente aproximada de lo que las aguas podrán molestarnos.

Aguas superficiales

Las aguas superficiales son un inconveniente por las filtraciones que se producen á través de los terrenos en que está situada la explotación. En algunas ocasiones estas aguas, á pesar de penetrar en el terreno, no llegan á influir en la explotación, porque antes de llegar á ella encuentran alguna capa impermeable, sobre la cual se des-

lizan y son conducidas hacia otros lugares en que ya no pueden perjudicar nuestras obras.

Consideremos, pues, el caso que nos interesa, ó sea aquel en que las aguas filtradas en una superficie situada en la misma vertical, ó en otra muy próxima, del minado, llegan á éste y amenazan inundarlo.

Si el terreno fuese plano, puede solucionarse el problema construyendo artificialmente lo que la naturaleza no quiso allí poner; apisonaremos una capa de arcilla bien escogida, y dando las pendientes más á propósito para que las aguas sean dirigidas hacia regiones que no influyan en el minado. Si el terreno fuese poco ó muy accidentado bastaría abrir zanjas de grande ó pequeña consideración, según sea la abundancia máxima de las aguas, por la parte superior de la pendiente de la superficie, para que se escurran por ellas sin penetrar en la superficie que afecta á la mina. Y son, á veces, de tanta importancia estas desviaciones de las aguas superficiales, que puede citarse el caso de una Compañía extranjera que ha tenido que desviar tres ríos para librarse del peligro que hubiera amenazado constantemente á sus labores. Pero, á veces, no es posible conducir por otros terrenos las corrientes superficiales, y entonces ha de recurrirse á la construcción de lechos artificiales impermeables por cualquiera de los medios que la construcción nos enseña.

Una precaución general que ha de tomarse en todas estas obras de desviación ó de encauzamiento

es la de construirlas en los terrenos menos atormentados por los fenómenos geológicos y que menos perjudicados puedan ser en su estabilidad por las venideras obras de la explotación. Por regla general, consiguientemente, las construiremos en terrenos pertenecientes al piso del yacimiento, y sólo cuando esto no sea posible las construiremos en los pertenecientes al techo, si bien tomando en su máximo las medidas preventivas.

Aguas subterráneas

Consideraremos aquí como aguas subterráneas tanto las que propiamente son subterráneas en aquel lugar, como las que, no habiendo podido contener ó apartar en la superficie, por unas ú otras causas, filtran hasta las labores.

Por lo general, en este caso deben levantarse obras preventivas que nos pongan á cubierto de la inundación los trabajos situados en niveles inferiores á aquel por donde se teme la avenida de tan temible elemento; no dejaremos en ningún caso que nos sorprenda indefensos, pues, en la mayoría de las veces, ó seremos vencidos ó sólo lograremos sobrepujarle á costa de mucho tiempo y mucho dinero.

Las obras preventivas se construyen en las galerías ó pozos por los cuales temamos la inundación; y pueden ser de carácter definitivo ó sólo accidental; es decir, consisten en cerramientos permanentes y en cerramientos que se han construído en prevención de la llegada inopinada del agua. Los primeros se construyen en galerías y pozos que ya no tengan que prestar servicio; los segundos, en

caso contrario. Y es natural que un cerramiento preventivo se convierte en permanente desde el momento que la llegada temida del agua ha tenido lugar. Los cerramientos de los pozos tienen casi siempre, desde el momento de su construcción, el carácter de definitivos. Por fin, pueden construirse en madera, mampostería ó hierro.

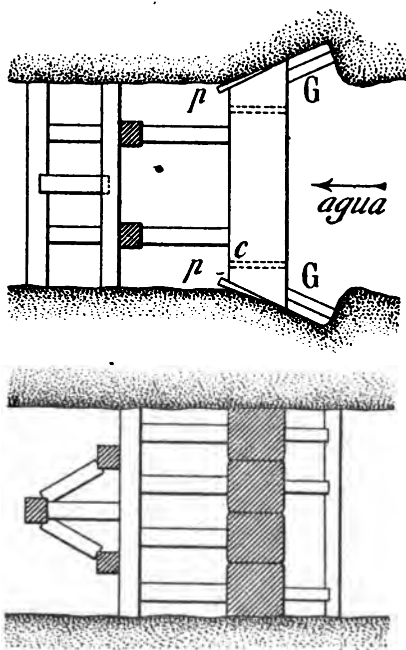
Cerramientos en las galerías

Los cerramientos de galerías suelen ser planos ó esféricos. Los primeros no suelen presentar tanta resistencia como los segundos, pero son de más económica instalación.

Supongamos (figs. 99 y 100) que, temiendo ser inundados por cuantiosa agua que venga de la dirección en que perforamos la galería *A B*, hemos decidido construir un cerramiento en esta galería. Como primera y principal condición para la elección del sitio en que se ha de colocar, hay la de que las paredes, suelo y techo de la galería sean muy resistentes, pues de más estaría el cierre si, llegado el momento de tener que contrarrestar el empuje del agua, cedieran las paredes en que se apoya la construcción.

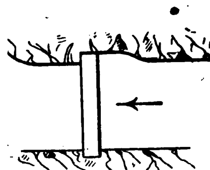
Elegido el lugar, labraremos en el piso y techo de la galería dos planos inclinados unos 20° con la horizontal, y bien paralelos; y otros dos, uno en cada pared, con igual inclinación. Esta labra ha de ser hecha precisamente con la punterola ó cincel, jamás con barrenos, porque la explosión de éstos podría agrietar la roca y menguaría, por lo tanto, su resistencia. Sobre el plano labrado en el suelo

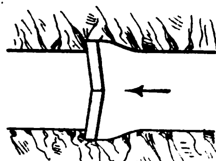
se coloca una tela embreada ó masticada, y encima una tabla de madera de pino de unos 2 centímetros de grueso y otra en el plano superior; se coloca, ahora, otra tabla en uno de los planos laterales y luego un madero vertical bien escuadrado y cepillado, de madera de encina bien seca que ajuste bien con la tabla vertical y con los planos superior é inferior, á cuyo fin sus extremos presentan igual ángulo que dichos planos. Inmediatamente se afianza con unas tornapuntas pequeñas *G*, pero suficientemente resistentes, para que pueda acuñarse y calafatearse perfectamente con musgo ó mástico por la cara de menor sección, esto es, por la cara contraria á aquella por donde se teme la llegada del agua. Afianzado el primero, se procede á la colocación del segundo y luego á la del tercer pie derecho; y, por fin, cuando sólo falten colocar dos maderos, se procede á la colocación de la tabla y madero



Figs. 99 y 100

correspondiente á la otra pared. Queda así obturada toda la sección de la galería excepto en el espacio que corresponde á uno de los maderos verticales, que no se coloca en seguida, sino que sólo se prueba si ajustará bien cuando se decida su colocación definitiva, esto es, cuando dé principio la inundación ó se tema su llegada de uno á otro momento.


Fig. 101


Fig. 102

Terminados estos trabajos, se cubre toda la cara que ha de estar en contacto con el agua con una tela embreada, previo apuntillado y perfecto calafateo de los intersticios que hayan quedado entre madero y madero, si bien ya con objeto de que quede el ajuste lo más hermético posible, se colocan entre cada dos de ellos telas embreadas. Y, por fin, se dispone detrás un sistema de tornapuntas y vigas transversales para aumentar en lo posible la resistencia del conjunto á las enormes presiones que quizás tendrá que sufrir.

Otras veces los maderos se colocan horizontalmente, tomando iguales precauciones que las acabadas de indicar para alcanzar un perfecto ajuste.

Estos cerramientos antiguamente se habían construído ya planos, ya en ángulo, tal como esquemáticamente indican las figs. 101 y 102, pero han sido ya casi del todo abandonados.

Los cerramientos de mampostería no presentan ninguna particularidad que sea necesario mentar, pues se construyen como toda otra obra de esta clase, por hiladas horizontales y alternando las juntas; ha de asentarse, sí, sobre buena base en los lados de la galería; y se colocan en lugar á propósito de la obra un tubo de hierro colado provisto de una puerta y de suficiente diámetro para permitir el paso de mineros y materiales, y otros dos pequeños orificios también con su marco correspondiente, uno en la región inferior para que se escurran las aguas que filtren en las partes superiores de la galería, y otro en la región superior cuyo objeto veremos dentro de poco.

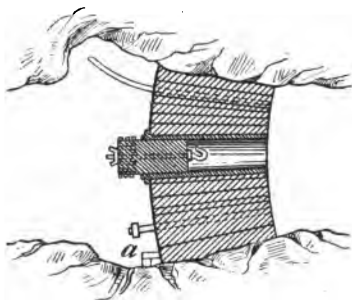


Fig. 103

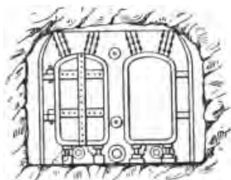
Los cerramientos esféricos son mucho más resistentes que los planos y no necesitan el apuntalamiento con que hemos visto se afianzaban los planos. Han de ser, sí, perfectamente labradas todas sus piezas, y esto por la misma razón que lo ha de ser también el dovelaje de una bóveda, que al fin y al cabo un cerramiento de esta clase no es más que una bóveda de eje horizontal. En su construcción se emplea madera de encina de la mejor calidad, labrada en igual forma que las dovelas de una bóveda esférica pero de altura sumamente exagerada, como puede observarse por la inspección de

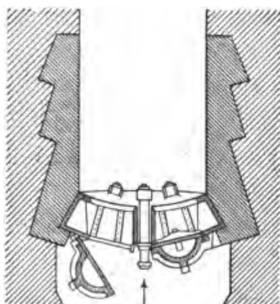
la fig. 103, y cuyos casquetes esféricos corresponden á radios de 7 y más metros.

Para levantar el cerramiento se principia señalando su centro por medio de un clavo en una madera que vaya de pared á pared de la galería, ó, lo que es mejor, del suelo al techo, porque así es menos importuna para la circulación. Y por medio de un cordel fijado en este clavo, se labran con el escoplo en las paredes y techo y piso de la galería los asientos sobre que ha de descansar la construcción. Inmediatamente, y previa la adaptación de una tela embreada al asiento del suelo y paredes hasta próximamente la mitad de la altura de la galería, se colocan sucesivamente las dovelas correspondientes á la parte baja, y luego las de la segunda hilada, etc., en series concéntricas y de manera que se quiebren las juntas, tomando la precaución de colocar en el centro, como clave, el *paso de hombre,* consistente, como en los cerramientos de mampostería, en una pieza de fundición que aquí es de forma tronco-cónica para que ajuste con las dovelas de la última hilada.

Colocadas todas las dovelas en su sitio y ajustando todas bien entre sí, de lo cual ya se estaba cierto por cuanto nunca principia á montarse un cerramiento sin antes haber presentado en su lugar el conjunto para poder corregir los defectos de construcción que se noten, se procede al apuntillado y calafateado por medio de cuñas planas ó ligeramente acuñadas y musgo ó mástico. Y se termina clavando cuidadosamente en las dovelas una tela que cubra toda la cara, que ha de estar en contacto con el agua.

Los cerramientos metálicos para galerías suelen ser puertas de hierro que giran sobre goznes fijados en marcos de fundición que á su vez se fijan en obra de mampostería que los hace solidarios de las paredes, piso y techo de la galería. Las figs. 104 y 105 dan idea suficientemente clara de estas construcciones para que insistamos en su descripción. Observaremos, no obstante, que se colocan dos puertas, tal como indican dichas figuras, en los casos de galerías de gran circulación, que ya suelen ser al propio tiempo las de mayor ancho.





Figs. 104 y 105

En todos los cerramientos las puertas se tienen fuera de sus quicios, arrimadas á una de las paredes y sujetas á éstas por medio de cadenas cerradas con candados cuya llave tiene el capataz, para estar seguros que en el momento de necesitarse de ellas están en su sitio. Se comprende que de nada servirían estas construcciones preventivas, que cuestan á veces varios miles de pesetas, si en el momento preciso en que han de utilizarse sus servicios no se encontraran las puertas, claves ó últimas piezas para colocarlas en su sitio y preservar así de la

inundación el resto de la explotación. Su existencia en buen uso es tan extraordinariamente importante, que además de éstas se toma la precaución de que un encargado los visite de tiempo en tiempo para cerciorarse, bajo su responsabilidad, no sólo de que todo está en su sitio, sino también de que todo está en estado de prestar su utilidad en cualquier momento.

Pongamos el caso de que ya naturalmente, ya trabajando los mineros, se ha abierto una vía de agua de ímpetu ó caudal tal que amenaza con no poder ser dominada, y, por lo tanto, hace temer que se inunden las labores inferiores. En este caso, se retiran los obreros á la parte contraria del cerramiento y cierran las puertas, ó se colocan en su sitio las dovelas de cierre final que durante la construcción ya se habían dejado en la parte anterior del cerramiento, ó sea por donde ha de venir el agua, y donde ahora se encuentran sujetas con la cadena. Entretanto el agua sube de nivel y acaba por llenar la galería, salvo una región en el techo, donde quedaría aprisionado un volumen más ó menos considerable de aire si no se hubiese tomado la precaución de labrar el techo en la forma indicada en las varias figuras que nos representan estos cierres, y de haber dejado el orificio señalado en la fig. 99, al que antes nos referíamos. Se ha observado, efectivamente, que este aire que quedaría aprisionado es sumamente perjudicial para la duración y resistencia de la construcción, por lo cual no ha de olvidarse facilitar su salida en ninguna de ellas.

También es muy conveniente que todas ellas tengan un orificio en que poder instalar un manómetro con objeto de que una vez en funciones el cierre, sepamos en cualquier momento que nos convenga la presión que sufre. Es por demás casi indispensable que lo haya en los primeros días en que la inundación ha tenido lugar, pues nunca se someten de repente ó de un solo golpe á toda la presión del agua, sino que una vez cerciorados que no hay aire detrás porque ya sale agua por el orificio superior, se cierra éste, y luego cada dos ó tres días se va disminuyendo la canal ú orificio *c* (fig. 99) que inferiormente se había dejado para el escurrimiento de las aguas, de tal manera que en cada una de estas operaciones aumente en media atmósfera la presión marcada por el manómetro, hasta que ya próximos á alcanzar la mitad ó algo más de la presión calculada para el cierre, se aumenta diariamente en dicha presión hasta cerrar del todo el paso por el orificio referido.

Sucede á veces que estos cerramientos, al resistir presiones de 3 y 4 kilogramos por centímetro cuadrado, sudan por todas las juntas; pero se observa al cabo de poco tiempo que estas fugas van decreciendo; y si no sucediere así, se deja paso al agua por la canal ú orificio inferior para aligerar de presión á la construcción, para luego someterlo otra vez á todo su empuje. Si después de algunos días persistieran los escapes, será necesario aligerar nuevamente la presión, y en el ínterin se resuelve si conviene conservar este cerramiento ó construir otro que le substituya.

En este último caso, se comprende que no se derriba el cerramiento inútil, puesto que nos veríamos inundados, sino que se construye otro á mayor ó menor distancia de él, y una vez construído, un operario abre el orificio inferior para que pase el agua y entre en funciones la nueva construcción; pues si dejáramos las cosas en el ser y estado presentes, si llegara un momento en que el antiguo cierre no pudiera resistir y fuese derribado, llegaría con tal ímpetu el agua al nuevo que, incapaz de resistir la presión extraordinaria que le comunicaría la fuerza viva de la masa líquida, sería á su vez derribado.

En muchas ocasiones, los cierres, en los primeros días, retroceden en bloque sobre sus asientos, hasta quedar sentados ya por tiempo indefinido en sus bases.

Cerramientos en los pozos

Los cerramientos construídos en los pozos son análogos á los hasta aquí explicados. Sólo varía la posición de su eje. Ya hemos mencionado que se construyen casi siempre con carácter definitivo, esto es, que queda el pozo inservible porque se hace imposible la comunicación entre una y otra parte de la construcción.

En su construcción ha de escogerse detenidamente la sección del cañón del pozo en que las paredes ofrezcan suficiente resistencia; se labran éstas con la inclinación necesaria, se monta una cimbra, puesto que aquí no queda otro medio de sostener en su sitio, durante la construcción, las diversas dove-

las que se van colocando, se colocan éstas sobre la cimbra en su sitio correspondiente, y se termina con la clave (ó claves, como es el caso representado en la fig. 106 que reproduce el construído en la mina

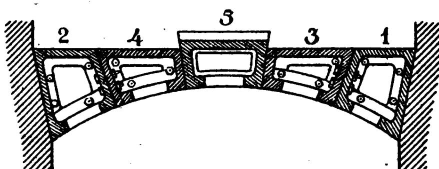


Fig. 106

San Nicolás de Varangéville y que consta de siete arcos como el dibujado, de cinco dovelas cada arco y contiguos). En cuanto se han terminado estos trabajos, se calafatea y se descimbra; y encima se apisonan capas de substancias impermeables, por ejemplo, de arcilla.

Otros medios es posible también poner en práctica, y de ellos se ha citado ya uno, para los casos de filtraciones poco importantes, al tratar de la perforación de los pozos en el capítulo V.

II

DESAGÜE

Las precauciones tomadas para evitar la introducción de agua en las minas no pueden ser absolutas, pues que circulando ésta más ó menos abundante y rápidamente por toda clase de terrenos

permeables, deberían preservarse de las filtraciones las paredes de casi todas las excavaciones de la explotación. La finalidad de la contención de aguas, en realidad, no es evitar que las aguas se introduzcan en el minado, sino prevenir los peligros é inconvenientes de su excesiva abundancia, y especialmente de la irrupción momentánea de este elemento que, en cantidades prudentes, es causa de vida y prosperidad, y que al moverse en grandes masas siembra ante sí la destrucción y la ruina.

Las minas presentarán, pues, escasas ó abundantes filtraciones, que producirán diariamente un volumen aproximadamente constante de agua, que habrá de extraerse de la mina hasta el exterior si no queremos que paulatinamente se nos vaya llenando de agua la explotación. Esta operación es la que recibe el nombre de *desagüe.*

El desagüe puede ser natural ó artificial.

Ante todo, por ser un líquido sometido á la acción de la gravedad, como todos los demás, las aguas filtradas tenderán á correrse hacia los puntos más bajos, siguiendo las líneas de máxima pendiente. De manera que, al fin y al cabo, vendrán á reunirse en el fondo del pozo de entrada que, como sabemos, suele ser el punto más profundo de la explotación, si antes no han encontrado una vía que, comunicando con el exterior, las lleve hasta la superficie. Este caso, que es el llamado *desagüe natural,* es relativamente frecuente en las explotaciones filonianas y muy raro en los beneficios de capas por la particularidad, que no presentan éstos, de que aquéllas se encuentran comúnmente en

terrenos accidentados y tienen, por lo tanto, galerías abiertas en niveles bastante bajos y comunicando con la superficie. Cuando puede disponerse de una de estas galerías, todo el cuidado que ha de poner el ingeniero estriba en conducir de tal manera las aguas, que vengan todas á afluir en esta galería que sin gasto de cuantía las expele al exterior.

Es tan ventajoso el sistema de desagüe natural que, no de hoy, sino de cientos de años anteriores á nuestro tiempo, se pensó y se realizó la construcción artificial de galerías destinadas exclusivamente á este objeto. Y basta considerar que algunas de estas minas son de longitudes tan extraordinarias, como la galería Rothschönberger, de Freiberg, que mide 47,504 metros, con una sección de 3 metros de altura por 1'50 de ancho, y la Erust Augusthtollen, en el Harz, que tiene 23,638 metros de largo por 2'60 de alto y 1'75 de ancho, para comprender la economía y comodidad de tal sistema de desagüe.

En España no pueden citarse ejemplos de estas galerías tan extraordinarias. Sólo existe alguna que no llega siquiera á los dos kilómetros, y aun en tales condiciones, que no pueden citarse como perfectas. Estas galerías, si es que realmente han de ser beneficiosas, esto es, si han de compensar los crecidísimos gastos que en su construcción se invirtieron, es necesario que luego, durante el uso, no supongan gasto alguno de conservación y si acaso sólo muy ínfimo, y para ello, es indispensable que la construcción sea muy sólida. Y como, por otra parte, ya sabemos que las obras construídas en el techo, así como las construídas en la masa filoniana,

no presentan garantía de estabilidad, las primeras por los movimientos que suelen consentir aquella parte de terreno, y las segundas por la propia debilidad de la masa y por ser construcciones que sólo se les comunica la resistencia indispensable para que se sostenga la excavación por durante el tiempo relativamente corto que ha de servir; de ahí que huiremos siempre de utilizar como galerías de desagüe las que ya estén construídas, y las construiremos de nuevo, dándoles el máximo de resistencia, y que estas nuevas construcciones nunca las perforaremos en el techo sino siempre en la región del piso.

Por otra parte, ha de considerarse que las galerías de desagüe no presentan sólo ventaja por conducir al exterior las aguas superiores á sus niveles, sino que también las aguas más profundas tocarán de sus beneficios por cuanto no será necesario elevarlas directamente desde el fondo del pozo maestro hasta su boca, sino que levantándolas solamente hasta el nivel de la galería de desagüe ya saldrán naturalmente al exterior y tendremos la economía correspondiente al trabajo ahorrado por una elevación á menor altura.

La pendiente dada á estas grandes galerías es muy pequeña, por dos motivos: el primero, para aprovechar lo más posible la diferencia de nivel, y, por lo tanto, para poder cortar la mina á la mayor profundidad posible; el segundo, para evitar los efectos desgastadores del agua y de los materiales térreos, tanto más voluminosos cuanto mayor fuere

la velocidad del agua, arrastrados por la corriente sobre el revestimiento de la galería.

No dejaremos de mencionar que, en ocasiones, también beneficiamos de las galerías de desagüe porque por ellas pueden, á veces, hacerse en mejores condiciones los servicios de extracción y ventilación.

Desagüe por extracción directa

El desagüe por el sistema de galerías, hemos dicho que en ocasiones no puede emplearse, y además, aun en los casos en que se aplique éste, por la continuación de los trabajos en profundidad quedarán lugares situados á menor nivel, y, por lo tanto, la extracción del agua acumulada en estas labores más profundas tendrá que ser elevada, por lo menos, hasta la altura de la galería de desagüe.

Si la diferencia de nivel es poca, y son también pequeñas la cantidad de agua y el sitio en que ha de ser vertida, puede hacerse transportándola en cubos; pero si la distancia representa ya un recorrido algo importante, entonces resultará más económico construir una canal, por ejemplo, de madera, contrapendiente y con un obrero que, por medio de un cubo, vierte el agua en el extremo más elevado, que es, evidentemente, el que está junto al agua que se quiere elevar, correrá ésta hasta el lugar en que se ha de derramar. Por fin, si la cantidad de agua es algo importante, entonces es mejor substituir con una bomba de mano el cubo manejado por el obrero. Á veces se disponen varios canales, uno

á continuación de otro, hasta el punto de desagüe, con un obrero en cada uno de ellos que suba el agua del final de un canal al principio del otro.

Cuando se trata de elevar el agua un número grande de metros, entonces se recurre á la elevación mecánica.

Si la cantidad de agua producida en la mina es poca, su elevación hasta la superficie se efectúa con el mismo aparato que sirve para la extracción, con sólo substituir los toneles ó cajas por unos depósitos en que se introduce el agua. Estos depósitos, que á veces son simples cubas, pueden llenarse en la caldera del pozo y vaciarse en la superficie de dos maneras distintas, á saber: haciéndolos bascular para que el agua pueda penetrar ó salir por la boca ó bien disponiendo una válvula en su fondo que, abriéndose de fuera adentro, ceda cuando el depósito se apoya en la superficie del agua de la caldera y quede con mayor fuerza apoyada sobre su asiento al izar hacia la superficie el depósito lleno. De ambos sistemas, parece que no ha de haber motivo de duda al decidir cuál es más ventajoso; pero ha de tenerse muy presente que si bien es maniobra siempre penosa la basculación de la cuba ó depósito para llenarlo en la caldera y la otra basculación en la superficie para vaciarlo, es, por lo menos, rápido el llenado y el vaciado, mientras que estas operaciones son sumamente lentas en el sistema de válvula.

Es natural que todo el tiempo que el aparato de extracción ha de servir como mecanismo de desagüe,

aquélla ha de quedar interrumpida y, por lo tanto, ha de haber un límite que fije inexorablemente cuando á estos servicios se les ha de destinar instalaciones distintas. Este límite será, evidentemente, aquel en que el desagüe ocasione retrasos en la extracción ó ésta á aquél. En este caso, es muy común abandonar estos sistemas de desagüe y efectuarlo mediante el auxilio de bombas.

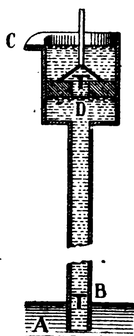


Fig. 107

Las bombas de minas han de reunir condiciones especiales, que implican á veces la adopción de sistemas que no se aplicarían en la superficie en igualdad de condiciones; pero la naturaleza, en ocasiones ácida, de las aguas, y principalmente el motivo de ser aguas turbias, por las materias térreas que llevan en suspensión, imponen diferente criterio en la minería del que se seguiría en la superficie.

Las bombas pueden ser de cuatro sistemas, ó sea: aspirantes, impelentes, aspirante-impelentes y elevatorias. En las aspirantes (fig. 107), al subir el émbolo tienden á producir el vacío detrás de sí, por cuyo motivo el agua del depósito ó nivel *A* se apresura á llenarle levantando al efecto la válvula *B*; entretanto el agua que había encima del émbolo empuja hacia abajo la válvula *D*, por lo cual no puede retroceder al través del émbolo y es empujada por éste hasta el vertedero *C*. Al bajar el émbolo, encuentra la resistencia del agua que se opone á su descenso porque la válvula *B* permanece cerrada por el peso de la columna de agua; pero como que la válvula *D*

se encuentra con menor presión en la parte superior que en la inferior, se levanta sobre su asiento y el agua se arroja por ella hacia este recinto de menor presión, con lo cual el émbolo puede llegar hasta el punto más bajo de su carrera.

La bomba impelente (fig. 108) está en comunicación por una misma de las dos regiones en que el

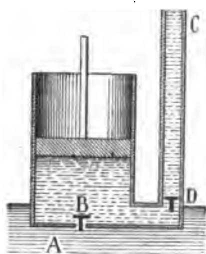


Fig. 108

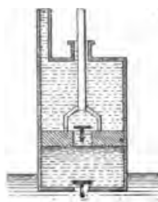


Fig. 109

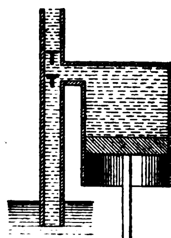


Fig. 110

émbolo divide al cuerpo de bomba, con el depósito ó nivel que ha de secarse y el tubo que comunica con el lugar hasta que ha de subirse el agua. Al subir el émbolo tiende á dejar el vacío tras sí, vacío que el agua del depósito *A* se apresura á llenar, y al bajar se asienta con fuerza la válvula *B* sobre su asiento y la presión encuentra alivio porque se levanta la válvula *D*, á través de la cual es empujada el agua hacia las regiones superiores *C* á donde se quiere dirigir.

La bomba impelente puede aplicarse siempre; en cambio la bomba aspirante sólo puede aplicarse si la altura á que se quiere elevar el agua no llega á 10 metros, que es, aproximadamente, la medida de la presión atmosférica en columna de agua.

La bomba aspirante impelente está constituída por una combinación de estas dos.

Las bombas elevatorias se diferencian en que el émbolo soporta sobre sí el peso de la columna de agua que eleva. Las figs. 109 y 110 nos dispensan, por su claridad, de entrar en más detalles respecto á su funcionamiento.

De otra clase de bombas, bombas ya más modernas, hemos de tratar. Nos referimos á las bombas rotatorias, no porque en realidad presten mejores servicios que las anteriores, sino porque señalan una orientación nueva en la maquinaria de desagüe, si bien, á nuestro modo de ver, equivocadamente aplicada en la mayoría de los tipos construídos.

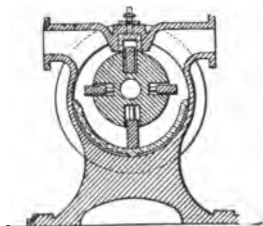


Fig. 111

Las bombas rotatorias son aquellas en que el émbolo está dotado de un movimiento de giro sobre sí mismo, en vez del movimiento alternativo y rectilíneo que tenía en los tipos antiguos. En la fig. 111 el émbolo es un núcleo central que gira sobre un eje montado excéntricamente con respecto á la caja envolvente, y va provisto de unas paletas que por medio de unos resortes se aplican suavemente sobre las paredes de la envolvente, y deberán, por lo tanto, tener un movimiento de entrada y salida en la masa de dicho núcleo. Se ve ya, por la sola inspección de la figura, que se forman así cuatro distintos compartimientos, que tomarán agua del canal

de la derecha y lo trasladarán al de la izquierda, si se admite que la bomba funciona girando el émbolo en el mismo sentido que las agujas de un reloj. Y nos fundamos en que es equivocada la aplicación de estos modelos de bombas que en la ventilación dan tan buenos resultados, en que el agua es muy escasamente compresible, y, por tanto, no puede someterse sin resistencia á las variaciones de volumen que presentan las capacidades de los compartimientos referidos.

También han de citarse las bombas centrífugas en las que la aspiración y la elevación del agua se efectúa por la fuerza centrífuga, que son muy ventajosas en la elevación á poca altura de grandes masas de agua.

Terminaremos citando, aunque no es éste quizás el lugar más á propósito, pero así no tendremos que volver sobre ello, los inyectores, los pulsómetros y los elevadores ó montajugos. Los primeros, funcionan por el tan conocido principio del inyector Giffard, y se hace innecesario todo detalle; los segundos, obran por la condensación del vapor de agua, y la supresión en ellos realizada de todo mecanismo los hace prácticos, si bien son antieconómicos para la elevación de toda clase de aguas, por turbias que sean, y los terceros, por efecto del aire comprimido.

Observaciones sobre las instalaciones de desagüe

Prácticamente, las bombas no pueden elevar el agua á una altura indefinida; dejando á un lado las bom-

bas aspirantes, que ya se sabe no pueden elevarla más allá de los 10 metros por perfecta que sea su construcción é instalación, las bombas impelentes tampoco pueden alcanzar las alturas extraordinarias que suponen la profundidad de muchos de los pozos construídos para el servicio de minas, pues que, si bien es verdad que teóricamente este límite no existe, en la práctica se oponen no sólo la resistencia de los materiales sino también las condiciones económicas de uno de los servicios que no puede suspenderse ni aun en aquellos casos en que la explotación, el trabajo, esté interrumpido por un paro más ó menos prolongado. Una altura de 500 metros ha de considerarse inabordable, prácticamente, por el trabajo de una sola bomba.

Más allá de estos límites y también en la generalidad de las veces que no se trata de estas alturas, se recurre á dividir la distancia total en secciones que suelen medir de 50 á 100 metros, y lo más común de 60 á 80. Verdad es que de esta manera se multiplican el número de mecanismos puestos en movimiento, ya que cada sección tiene su bomba y que las bombas en buen estado tendrán que amoldarse al rendimiento de las peores; pero se salva el inconveniente, que puede calificarse de peligroso, de las presiones extraordinariamente grandes que han de resistir los órganos todos del servicio de extracción, lo cual da lugar á constantes fugas y desperfectos que causan interrupciones en el servicio de desagüe.

Estas interrupciones son tanto más de temer cuanto que no puede aumentarse á voluntad la velo-

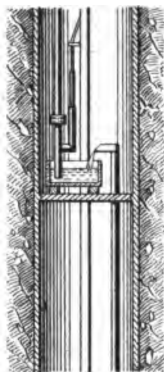
cidad de las bombas. Las condiciones especiales de todo líquido, imposibilitan hacerlos mover con velocidades que excedan de cierto límite, que prácticamente no puede calcularse muy superior á o'5 metros por segundo, y, además, si hiciéramos funcionar á las bombas á más de 12 ó 14 golpes dobles por minuto nos encontraríamos con la dificultad de que las válvulas levantadas en uno de los movimientos no tendrían tiempo de asentarse nuevamente en sus asientos en el momento en que debieran ya estarlo.

Respecto al desagüe con una sola bomba, ha de observarse que, salvo muy pocos casos, no existe; pues, aun en aquellos que son citados como á tales, hay un primer trayecto de 30 á 40 metros seguido de otro trayecto ya único hasta la superficie. En el primer trayecto, una bomba aspirante y elevatoria, constituída por una bomba aspirante cuya primera válvula está situada á 6 ó 7 metros sobre el nivel de la caldera; y puede decirse que, salvo otros raros casos, á este servicio quedan reducidas las utilidades de las bombas aspirantes en las minas. Esta aplicación viene impuesta por la facilidad con que puede ser limpiada toda esta porción inferior de tubería cuando queda más ó menos obstruída por los lodos que siempre llevan las aguas acumuladas en la caldera, aun en aquellos pocos casos en que ha sido posible construir dos calderas, una en servicio y otra en reserva, precisamente, para el aposamiento de estos lodos y en aquellos en que, como veremos, se filtra el agua; y, efectivamente, entonces, basta sacar

el émbolo del cilindro, y mediante una larga pértiga ó barra de hierro terminada en gancho se coge á la válvula inferior por su asa (fig. 120) y se sube hasta arriba para limpiarla y limpiar también con agua la tubería inferior, terminado lo cual, se coloca nuevamente en su asiento de igual manera que se extrajo.

Continuando la descripción de las particularidades del desagüe por medio de bombas escalonadas, que habíamos interrumpido momentáneamente, observaremos que la separación de cada tramo no es conveniente pase de los límites indicados, pues si se distribuyen demasiado próximos se aumentan el número de organismos en funcionamiento, y si demasiado espaciados se somete á estos organismos á presiones mayores; pero, estén próximas ó alejadas unas bombas de otras, esto es, que sean cortas ó largas las secciones, siempre cada una de las bombas aspira el agua de un depósito á que la ha elevado la bomba inferior, y la vierte al depósito de donde la ha de aspirar la bomba inmediata superior. Estos depósitos suelen ser destapados y han de contener constantemente una cantidad de agua algo superior á la que toma cada embolada, para que no dé nunca el caso de que sea absorbida toda el agua y se introduzca aire en la tubería. Este constante exceso de agua puede obtenerse de dos modos distintos: disponiendo que cada bomba eleve algo más del agua que puede elevar la inmediata superior, ó bien derivando del agua filtrada en alguno de los pisos superiores, ó de las mismas paredes del pozo,

una cierta cantidad de ella, que sea suficiente para que, bajando de unos á otros depósitos por medio de vertederos de nivel constante, los conserven siempre llenos. Verdad es que, tanto en uno como en otro caso, se pierde una parte de energía, pero se evitan los inconvenientes de tener aire en la tubería.



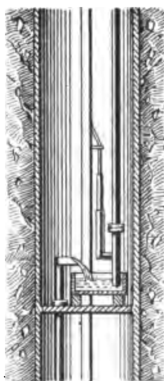


Fig. 112

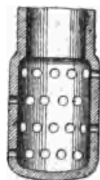
Estos depósitos son á veces substituídos por simples prolongaciones de la tubería ascendente, tal como indica la fig. 112.

Tubería

La tubería, si es directa desde el fondo á la superficie, suele construirse de fundición, sí bien algunas veces las secciones superiores son de hierro dulce, y se construye de manera que su resistencia aumente con la profundidad, porque en su parte inferior resiste presiones equivalentes á tantas atmósferas cuantas veces diez metros tiene su longitud. Cuando el desagüe es por bombas escalonadas no se tienen que tomar tantas precauciones, puesto que las presiones son menores desde el momento que en el pie de cada sección se restablece la presión atmosférica.

En el extremo inferior de cada tubería se coloca una pieza (fig. 113) para filtrar el agua.

El sostenimiento de estas tuberías se obtiene por medio de grapas muy reforzadas fijadas en la pared, y decimos reforzadas porque casi siempre, con objeto de disminuir la velocidad del agua que por ellas circula, ha de aumentarse proporcionalmente su sección.


Fig. 113

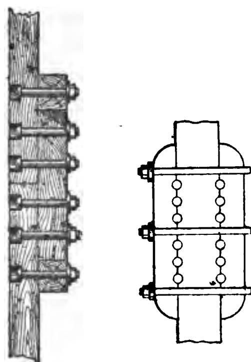
Las tuberías suelen ser bastante desgastadas por el rozamiento del agua; y, para evitarlo, á veces se forran de madera. También, cuando han de ser recorridas por aguas corrosivas, se les da una ó varias capas de pintura.

Tirante

El movimiento á las varias bombas escalonadas suele serles comunicado desde la superficie por un solo motor. En el caso de desagüe directo se instala á veces el motor en el interior de la mina, á varias decenas de metros del fondo, para evitar el peligro de una crecida inesperada de las aguas; pero esto tiene el inconveniente de elevar excesivamente la temperatura interior, lo cual á su vez puede perjudicar á la ventilación, y de tener que evacuar al exterior los humos de los hogares. Además, requiere un espacio relativamente grande en que instalar los generadores. Todo ello aboga, pues, para instalar el motor en la superficie, pues es poco económica la solución mixta consistente en instalar los generadores en el exterior y conducir el vapor hasta el motor montado en el interior.

Considerando el caso de bombas escalonadas

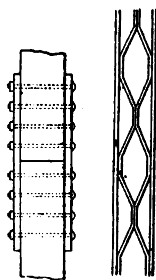
con el motor en la superficie, que es lo más general, se comunica el movimiento á todas ellas por un sólo vástago que corre á lo largo de la profundidad del pozo, y al cual, mediante unas escuadras convenientemente reforzadas, van unidas las espigas de los émbolos de cada bomba.



Figs. 114 y 115

Este vástago general se construye lo más descargado posible, si bien de manera que no sufra en su solidez. Por lo general, es de madera de encina, de forma prismática y de sección que va decreciendo en cada tramo á medida que profundiza en el pozo. Las ensambladuras han de ser bien seguras para que, con el movimiento de vaivén de que está animado, no adquieran juego y quede inservible al poco tiempo.

Las figs. 114, 115 y 116 dan idea de tres modos distintos de hacerlas.

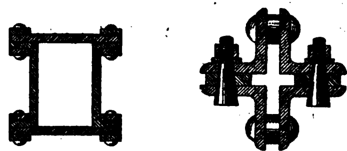


Figs. 116 y 117

Cuando el vástago se construye de hierro, se le da la forma de la fig. 117 ó bien las secciones representadas en las figs. 118 y 119. El vástago se provee de superficies de rozamiento, que suelen ser planchas de hierro, en los puntos en que ha de estar en contacto con las guías.

Válvulas

Las válvulas son, después del émbolo, las principales piezas de la instalación de desagüe. Su asiento ha de cerrar perfectamente, y su construcción total ha de ser calculada de tal modo que reúnan una seguridad absoluta en su funcionamiento y una sensibilidad grande.



Figs. 118 y 119

La necesidad siempre creciente de un abundante desagüe, motivada por el también siempre creciente desarrollo é intensidad del trabajo minero, que ha

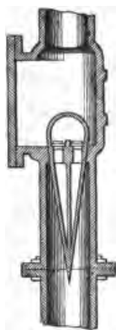


Fig. 120

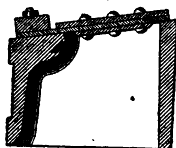


Fig. 121

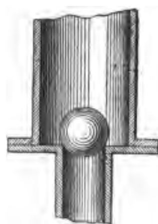


Fig. 122

seguido como todos los demás la ley general de la disminución del coste por el aumento de producción, ha llevado incesantemente á la construcción de válvulas de mayores dimensiones con objeto de disminuir la velocidad del agua desalojada. Tanto es así, que hasta ha llegado un momento en que se

ha discutido qué sería más conveniente, si conservar una sola válvula de gran diámetro ó repartir su sección en varias válvulas de menores dimensiones, habiéndose dividido los pareceres, pero también habiendo quedado sentado definitivamente que pesan menos que una determinada válvula el conjunto de las varias que le son equivalentes. Las figs. 120, 121 y 122 dan idea de tres distintas formas de válvulas.

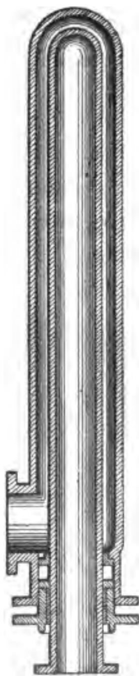


Fig. 123

Émbolos

Respecto á los émbolos, mencionaremos que antiguamente solían revestirse de bandas de cuero ó de cáñamo, para obtener un mejor ajuste con el cilindro ó cuerpo de bomba; pero hoy se construyen con superficies de contacto metálicas, como más suaves en su frotamiento y menos frecuentes en sus desperfectos.

En ocasiones se emplea el llamado émbolo sumergido (fig. 123), que obra desalojando el agua de la cavidad (cuerpo de bomba) en que estaba reunida. Presentan la ventaja de su menor coste de instalación por cuanto el cilindro no ha de tener labradas sus paredes internas.

CAPÍTULO X

MÉTODOS DE EXPLOTACIÓN

I

LABORES PREPARATORIAS PARA LA EXPLOTACIÓN

«El arte del laboreo de minas—dice Malo de Molina en su magistral y ya citada obra *Laboreo de minas* — es el conjunto de preceptos que deben seguirse para aprovechar la riqueza mineral terrestre con la debida seguridad personal y con la mayor economía y prontitud posibles.

»Es claro que estos preceptos tienen que estar en íntima é inevitable correlación con las condiciones peculiares del criadero á que se apliquen, toda vez que, por lo ya sabido, se comprende desde luego que á condiciones absolutamente distintas de yacimiento y á modos de ser completamente contrarios, no podrán aplicarse exactamente los mismos preceptos. Tratar de aplicar procedimientos empleados en la explotación de aluviones ó placeres, al disfrute de criaderos en roca consistente, emplear igualmente los mismos métodos y sistemas en filones de escasa potencia, 6, 7, 8 ó 10 centímetros,

que en las potentes capas de 20 y 30 metros de espesor ó en las masas y bolsadas de cientos de metros, sería pretender imposibles y desconocer en absoluto el asunto; igualar los sistemas de explotación y la disposición de las labores y trabajos fundamentales, prescindiendo de la inclinación de los criaderos y de la topografía de la localidad, sería marchar en contra de toda idea económica y gravar para siempre al negocio con un coeficiente de gasto, inútil por completo, que tal vez le cierre las puertas á toda competencia con la producción similar de otras comarcas, de otros países.

»No cabe duda alguna; los distintos caracteres de los diferentes yacimientos exigen distintos preceptos que regulen su más completo, su más económico y su más pronto aprovechamiento. La potencia, la inclinación, la mayor ó menor regularidad de su marcha, la solidez y coherencia del mineral, de la roca de caja, la preponderancia de la materia estéril (ganga) sobre la rica (mena) ó viceversa, el precio de las materias primeras, el de la mano de obra, los hábitos y costumbres del país, etc., etc., son factores importantes en la determinación del sistema de explotación.

»Todos estos antecedentes nos deben ser conocidos por las labores de reconocimiento que sobre el criadero se han hecho, según dijimos en el capítulo III, para apreciar si éste es ó no explotable industrialmente; y, por lo tanto, nos encontramos ya en las debidas condiciones para escogitar el plan general que es más á propósito para explotarle en consonancia con las tres condiciones que exige este

arte. Cuanto más extenso y más completo haya sido este reconocimiento, tanto más exactos serán estos datos, tanto más completo será el conocimiento que del criadero hayamos formado; y esta es la ocasión de que nos preguntemos cuál es el límite que determina la extensión de esta operación preliminar, para que, al señalarle, sepamos si entramos ó no con buenas condiciones de acierto en el estudio del sistema de explotación. Nada fijo ni concreto puede decirse sobre este punto, siendo el único juez que debe entender en él, el criterio más ó menos ilustrado del jefe técnico; el cual, con arreglo á sus conocimientos teóricos y prácticos, con apreciación de lo que enseñan las explotaciones actuales ó ya pasadas de iguales criaderos en la localidad y conforme con las exigencias y condiciones privadas de la entidad explotadora, determinará la conclusión de las labores de reconocimiento y el principio de la época de explotación.»

Ya dijimos, en el principio del capítulo II, que no podía haber una delimitación exacta entre las labores preparatorias y las labores propiamente de beneficio; unas y otras han de avanzar de manera que se presten mutuo apoyo, con objeto de realizar economías en trabajos que de suyo ya no son reproductivos hasta pasado un gran lapso de tiempo.

En realidad, casi podrían dividirse las labores preparatorias en dos órdenes distintos, ó sea, las labores preparatorias generales de la explotación y las labores de preparación parcial; esto es, las labores que nos permiten penetrar hasta una deter-

minada profundidad del yacimiento, que nos permiten llegar á un punto previamente fijado del criadero, que se considera como punto de partida del beneficio; y las labores que nos abren camino y preparan el lugar que ha de ser teatro de nuestros próximos trabajos, después de haber terminado el arranque y extracción del mineral en la zona en que actualmente trabajamos.

Las primeras labores, ó sea las de preparación general, consisten en lo que ya antes de ahora hemos llamado *pozos* y *galerías maestras,* empleándose los primeros cuando el criadero tiene una posición poco separada de la horizontal, y las segundas, cuando la posición del criadero tiende hacia la vertical; y no tenemos que insistir en el porqué de esta preferencia, puesto que ya en el capítulo III se dijo lo que hacía al caso.

También en el mismo lugar de dicho capítulo se indicaron las condiciones, ventajosas y perjudiciales, que hacían preferible la perforación de los pozos en el arrastre ó en la pendiente del criadero, y las consecuencias graves que puede tener en determinados terrenos la situación del pozo en arrastre y pendiente á la vez.

Pero después de consideradas las condiciones interiores del filón ó banco, condiciones que marcan muy claramente hacia qué lado ha de situarse el pozo, no pueden dejarse de pesar las que impone la conformación topográfica de la superficie. En efecto, nos guardaremos, por ejemplo, de situar la boca del pozo en un sitio de la superficie que no nos dé facilidades para la evacuación de las aguas extraí-

das de la mina, ó que no presente fácil vaciadero para los estériles que resulten de la preparación mecánica ó concentración de los minerales. Tampoco la situaremos en lugar en que no puedan instalarse en condiciones económicas de construcción por el momento, y condiciones económicas industrialmente consideradas para el porvenir, las instalaciones y edificios que la explotación propiamente dicha y su administración requieran. Y si ha de construirse un caserío para vivienda de la población minera por estar el criadero, como sucede casi siempre, en sitios apartados de todo núcleo habitado, pequeño ó grande, se procurará que, sin estar muy apartado de la boca de la mina, este caserío ó colonia, como ha dado actualmente en llamarse, pueda quedar en la región del piso del criadero, para evitar las desagradables consecuencias que podrían acarrearse por los movimientos que pueda algún día hacer la superficie como resultado de los que interiormente se produzcan, causados por las mismas labores de beneficio.

Por otra parte, la preparación mecánica de los minerales desecha aguas que pueden ser perjudiciales para la agricultura, lo cual pudiera acarrear el abono de indemnizaciones á los propietarios de las plantaciones vecinas; también deberemos, pues, procurar que tengan éstas fácil salida que las lleve á un río ó torrente vecino, ó á algún sumidero natural si es que por casualidad lo hay en las proximidades, ó bien á alguno que hayamos podido construir si las condiciones geológicas de la comarca lo permiten.

Y así, por este orden, podríamos ir presentando ejemplos de las diversas causas exteriores que, á más de las condiciones interiores, deberá el ingeniero de la mina tener muy presentes, y que por no ser demasiado extensos omitimos, por creer que son suficientes para señalar la orientación de todas las que han de pesar muy seriamente en el criterio de aquel que tiene el deber de velar por la seguridad personal del minero y por los intereses materiales de la entidad propietaria de la concesión.

En el emplazamiento del pozo maestro ó de la galería maestra ha de tenerse también muy en cuenta la extensión en *pertenencias,* ó sea en *unidades* de extensión superficial de la concesión que haya de alcanzar la explotación; porque es muy natural que si la extensión de la mina ha de ser muy grande, no dispondremos que el pozo ó la galería vayan á cortar la masa mineral en uno de los puntos extremos de la región del criadero cuya explotación tengamos concedida, porque entonces los acarreos interiores hasta el pozo ó galería maestra, serían muy onerosos. Á pesar de ello, pueden citarse casos en que la *zona de explotación* de un pozo es muy extensa, como, por ejemplo, dos, tres y hasta cuatro kilómetros desde el pozo hasta el punto más alejado de su zona de explotación.

Es preferible en estos casos, aunque son labores éstas de preparación que no pueden prodigarse por lo que encarecen el capítulo de gastos generales, ó, mejor dicho, de cargas constantes de la explotación, abrir otro pozo ó galería maestra de manera que cada uno tenga su zona propia, con sus servi-

cios independientes unos de otros. Y esta solución es tanto más de aplaudir por cuanto no debiera existir explotación ninguna con un solo pozo, sino que todas debieran tener, por lo menos, dos, para acudir en auxilio de los desgraciados que por algún accidente queden encerrados en el minado. Así, por ejemplo, en las minas de carbón de piedra más ó menos afectadas de desprendimiento de grisú, una explosión de este temible gas puede destruir la instalación de los aparatos ventilatorios ó los tabiques separadores de la corriente ventilatoria entrante y de la corriente saliente y dejar sin ventilación lugares á que sea conveniente llevar socorros, imposibilitando, por lo tanto, llegar á ellos; y también, si el pozo estuviese perforado parte en el techo y parte en el piso del filón, podría suceder que se corriese el techo sobre el piso, con lo cual se cegaría el pozo maestro y no podría socorrerse al personal que en la mina hubiese quedado encerrado. Afortunadamente, la tendencia general de las leyes mineras de casi todas las naciones es la de imponer la perforación de dos pozos, por lo menos, y hasta se señala la distancia á que deberán estar situados uno de otro, para evitar que un cataclismo interese á ambos pozos á la vez.

Necesidad de proceder metódicamente en el arranque del mineral

Si una vez llegados al nivel en que se desean principiar los trabajos de arranque, procediéramos sin plan ni método fijo, esto es, siguiéramos al mineral á medida que se nos va presentando

éste al descubierto por haberse derribado el que le ocultaba á nuestra vista, sería indudablemente un grave error, ya porque nos podrían pasar desapercibidas grandes masas metalíferas, ya porque deberíamos abandonar buena porción de la masa mineral para poder subvenir á la propia seguridad personal. Además, trabajando de esta manera, seguramente se deberían conservar en buen estado muchas de las galerías labradas para llegar al punto en que en el momento actual se estuviese trabajando, cuando procediendo con orden pueden abandonarse determinadas vías de comunicación que ya no han de ser necesarias en lo sucesivo, y no nos acarrearán, por lo tanto, los gastos de conservación de la fortificación por ser ésta ya inútil, antes al contrario, quizás podremos utilizar parte de ésta en otros lugares.

División del criadero en cuarteles

Para dar una idea, aunque ligera, de lo que es la organización metódica para el aprovechamiento total de la masa metalífera de un criadero, consideraremos uno de los casos más sencillos, cual es el de un filón ó capa de constitución regular, sin accidentes de conformación demasiado notables para que no se imponga tampoco una organización metódica especial, distinta de la corriente.

Representándonos, pues, este criadero inclinado y el pozo maestro que nos ha de permitir su explotación labrado en el piso, se labra desde él, á cada determinada profundidad, una galería traviesa que vaya á cortar el criadero y, desde el punto de

encuentro de estas varias galerías traviesas, otras galerías á derecha é izquierda, en la masa del yacimiento, que, por llevar la misma dirección del filón ya reciben el nombre de *galerías longitudinales ó de dirección*. Las galerías traviesas serán las vías que utilizaremos para el beneficio de la sección inmediatamente superior de las varias en que de esta manera ha quedado dividido el criadero. Estas secciones, ó *pisos,* se suelen denominar por nombres propios especialmente destinados á ellas, ó bien por un número de orden, que ya puede partir desde el piso más inmediato á la superficie, y, por lo tanto, será creciente á medida que á mayor profundidad estén los pisos, ó ya partir desde uno cualquiera de ellos y tener dos órdenes crecientes, uno de abajo arriba, cuyos números reciben el calificativo de *superior,* y otro de arriba abajo, que se apellida *inferior,* ó bien, lo que es muy razonable, por el número de metros que nos representa su profundidad.

La altura de estos pisos no es del todo arbitraria, pues que según sea ella así podrán variar las condiciones más ó menos económicas en que se haga el beneficio. No puede ser pequeña, porque siendo de mucho coste las labores indicadas, esto es, las galerías traviesas y las galerías longitudinales correspondientes, pero sobre todo las primeras, que necesariamente han de labrarse en masa estéril, pues las segundas, si las condiciones del criadero lo permiten, pueden abrirse en su misma masa, y, por lo tanto, ya compensan en parte los gastos

de su perforación, queda gravado de una manera grande el capítulo de gastos generales. Por otra parte, tampoco puede ser mucha la altura de estos pisos, porque entonces se puede empezar el arranque por pocos puntos, los gastos de acarreo quedan muy aumentados por un gasto continuo de jornales, y además se complica inútilmente el movimiento interior de personal y material.

Mientras algunas minas presentan pisos que sólo tienen unos 15 metros, las hay que los tienen de más de 50 y algunas de casi 100; pero entre uno y otro extremo suele considerarse como altura normal la de unos 25 á 30 metros. No obstante, en determinados criaderos no nos será posible someter esta cuestión á las solas consideraciones indicadas, sino que jugará papel importante la naturaleza de la masa filoniana y hasta la consistencia de la roca de caja. La primera, porque puede ser un peligro la duración excesiva de los trabajos en un mismo punto, como sucede en las minas de carbón piritoso, en las que el contacto del aire con la masa que se extrae puede ocasionar incendios por oxidación de las piritas presentes, los cuales son á veces difíciles de apagar; y la consistencia de la roca de caja, porque la fortificación, quizás, no resista las presiones del terreno si dura excesivamente el tiempo del arranque.

Para no caer en ninguna de ambas exageraciones, también se ha procedido de una manera mixta relativamente económica, dividiendo al criadero en grandes pisos, que, á su vez, se repartían en sub-

pisos por medio de pozos inclinados y galerías longitudinales secundarias.

Cada una de las secciones ó pisos así obtenidos se divide en *cuarteles* por medio de pozos inclinados $p\,p'\,p''$ labrados, al igual que las galerías longitudinales $g\,g'\,g''$, en la misma masa del yacimiento; de esta manera nos queda el criadero dividido (fig. 124) en una serie de prismas *ABC* libres por cuatro de sus caras, que son las pertenecientes á las galerías y pozos dichos, y adheridos todavía á la roca de caja por sus bases, ó sea por el techo y piso del criadero. Cada uno de estos prismas suele ser la base de trabajo para otras tantas brigadas de operarios.

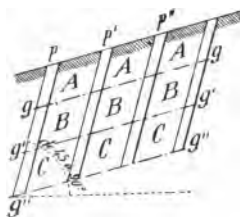


Fig. 124

Explotación ascendente y explotación descendente.

Dividido idealmente el criadero en pisos, y éstos en cuarteles ó *macizos*, dos son los métodos que podremos ahora seguir; esto es, ¿principiaremos el arranque por los pisos próximos á la superficie, ó, por el contrario, lo principiaremos por los más profundos? Una y otra manera de proceder presenta sus ventajas y sus inconvenientes; si principiamos por los pisos próximos á la superficie, los trabajos realizados son ya reproductivos, puesto que inmediatamente se extrae materia útil que puede ser vendida ó utilizada; pero, en cambio, á medida que vamos beneficiando los pisos inferiores por agota-

miento de los superiores, el trabajo se verifica en malas condiciones porque se realiza bajo masas que no tienen consistencia, como recientemente removidas que han sido, por lo cual deberán tomarse grandes precauciones, entre ellas la de una potente fortificación que contrarreste los movimientos que puedan ocasionarse; y también, comunicándose estos movimientos á la superficie, más pronto tendrán que abonarse indemnizaciones por los derrumbamientos que puedan ocasionarse, ó por la desaparición de las aguas superficiales, con lo cual se hace imposible el riego de la vegetación de los cultivos vecinos.

Inversamente, si principiamos por el fondo, deberemos desembolsar cantidades extraordinariamente grandes antes de estar en condiciones de poder vender la primera tonelada de mineral, con lo cual se recarga inmediatamente la explotación con los intereses de estos capitales y además los capitales poco conocedores de los procedimientos mineros pueden desconfiar de tan larga espera y retirar el crédito y el apoyo que antes habían prestado á la empresa; pero, al propio tiempo, no subsiste ninguna de las circunstancias que en el primer caso hemos considerado como perjudiciales, esto es, ni hay peligro de movimiento del terreno ni la fortificación ha de ser reforzada, ni han de abonarse indemnizaciones á los terratenientes ó propietarios de la superficie.

II

MÉTODOS DE EXPLOTACIÓN

No podremos, cual fuera nuestro deseo, extendernos en la descripción de los diversos sistemas de beneficio de los yacimientos mineros, pues saldríamos excesivamente del cuadro que nos hemos marcado, y además es materia tan extensa hoy por el número, cada vez mayor, de estos métodos á que han obligado las múltiples circunstancias ó particularidades de cada filón ó banco, que se alargaría extraordinariamente la materia.

Preferimos, pues, dar una idea muy á la ligera de los métodos que podríamos llamar típicos, fundamentales, con lo cual adquirirá el lector nociones suficientes para discutir los distintos casos que en la realidad puedan ofrecérsele y para fiscalizar las decisiones adoptadas por el jefe técnico de la explotación, que es el que ha de escoger, y estudiar, y discutir el método que crea más conveniente para el mayor y más económico aprovechamiento de la materia útil del criadero.

Causas que influyen en la elección del método

No cabe duda que los distintos caracteres de los yacimientos exigirán preceptos también distintos que nos conduzcan á un más rápido, más completo y más

económico aprovechamiento de las riquezas naturales que encierran. La potencia, inclinación, solidez del terreno de caja y la del mineral, preponderancia de la ganga sobre el mineral ó, al contrario, de éste sobre aquélla, la carestía de los materiales de entibado y de ativado, cotización del mineral en el mercado y un sinnúmero de datos más, nos obligarán á usar determinados métodos ó á disponer otros que se adapten mejor al caso de explotación de que se trate.

Pero lo que mayor diferencia da á los métodos de explotación es la mayor ó menor proximidad de la masa mineral á la superficie del terreno. Por ello es que ante todo dividiremos en dos grupos las explotaciones mineras; esto es, explotaciones á cielo abierto y explotaciones subterráneas.

Explotaciones á cielo abierto

El sistema de explotación á cielo abierto se emplea siempre que el yacimiento está sólo cubierto de una relativamente pequeña capa de tierra ó estéril. Es, en la generalidad de los casos, el más sencillo y económico de los métodos empleados, porque para su instalación no se necesitan los cuantiosos desembolsos que exigen las explotaciones subterráneas. Pero es natural que algo nos ha de marcar, cuándo nos convendrá emprender á cielo abierto y cuándo por trabajos subterráneos, la explotación de un criadero, y este algo es el precio ó coste del arranque del mineral, que es función, á su vez, de distintas consideraciones que han de pesarse muy mucho antes de empren-

der definitivamente los primeros trabajos, esto es, han de discutirse seriamente las ventajas é inconvenientes de cada sistema.

Ante todo, el beneficio al descubierto tiene la ventaja de eliminar considerablemente las causas que hacen difícil el trabajo, por ejemplo: la poca luz, el trabajo incómodo, el peligro constante, etc., y suprimir, en consecuencia, los gastos que ello reporta, como son el de alumbrado, la ventilación, la fortificación, etc. Por otra parte, siendo la luz abundante, los primeros estríos, los que se hacen al pie de la cantera, son más completos y suprimen, por lo tanto, gastos inútiles de acarreo de estéril, y pérdidas, siempre sensibles, de materia útil que queda confundida con el estéril que se abandona en el interior mismo de la mina. También pueden producirse grandes voladuras, imposibles en las excavaciones subterráneas, el transporte es mucho más económico, etc., y finalmente, las condiciones en que el personal ejecuta el trabajo, es el de una absoluta higiene.

En cambio, tiene el inconveniente de obligar á la ocupación de la gran extensión de superficie que supone la excavación de las trincheras y á la de una superficie supletoria para el vaciado del estéril y de las tierras desmontadas hasta poner al descubierto el mineral contenido en el criadero, lo cual obliga á inmediatas bonificaciones por los perjuicios ocasionados á los terratenientes.

En realidad de verdad, pocos son los modos distintos de realizar la explotación á cielo abierto, y nosotros sólo detallaremos tres casos.

Explotación á cielo abierto por beneficio ordinario

Consiste en abrir una zanja en la superficie del terreno hasta poner al descubierto las primeras capas del criadero, y así poder explotar éstas directamente sin necesidad de ninguna excavación subterránea.

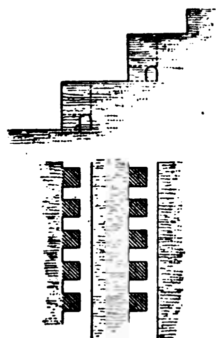
Las zanjas que con este fin se abrían antiguamente, á no ser que el terreno fuese muy consistente, sólo podían soportar muy pequeña profundidad para que no se derrumbasen sus paredes á pesar del talud que se daba á éstas. Pero actualmente, por el mejor conocimiento que se tiene de la construcción en general, y con los mejor estudiados medios de transporte, han podido llevarse á cabo desmontes que admiran por lo gigantescos y por el volumen inmenso de tierra removida.

En las labores á cielo abierto han de guardarse ciertas precauciones para no exponernos á perder el fruto de nuestro trabajo, ó, por lo menos, para no tener que sufrir paros de más ó menos duración. Así, por ejemplo, si el desmonte ó zanja está en una ladera de montaña, empezaremos los trabajos por la parte más baja para que las lluvias no inunden la excavación efectuada en el sitio en que se trabaja, y aun así, al amontonar el estéril en los sitios de la zanja á que ya no deba volverse, se tendrá cuidado, si la abundancia de aguas ó de lluvias lo hiciere necesario, de dejar unos como túneles para facilitar el escurrimiento de las aguas hasta las partes bajas del valle, más allá de los

límites de la excavación. Y si estuviese en sitio llano, procuraremos dotar á la obra de un fácil desaguadero hacia las partes bajas del valle, ya por medio de un pozo comunicando con un túnel ó galería que las conduzca hasta sitios en que no nos puedan molestar, ó bien encaminándolas hacia algún sumidero natural, si tenemos la fortuna de poderlo construir. Y siempre, como primera providencia, deberá procurarse encauzar las aguas superficiales, constantes ó accidentales, hacia lugares que no puedan perjudicarnos y de manera, si es posible, que nos suministren un manantial de energía, de fuerza motriz, que podrá sernos muy útil tanto para las operaciones mecánicas inherentes al mismo arranque y transporte del mineral, como para la preparación mecánica á que seguramente deberá someterse el mineral extraído.

Por otra parte, la organización del trabajo ha de ser perfecta si se desea elevar al máximo el rendimiento del personal y si se desea reducir al mínimo las indemnizaciones pagadas en concepto de terrenos alquilados para el almacenamiento del mineral extraído, ó del estéril desechado. Por ello es que se cortan las tierras en forma de bancos ó escalones, y haciendo avanzar la explotación por un igual en todos ellos, de manera que unos operarios no estorben el trabajo de los demás, y dejando en las paredes el talud necesario para garantir la vida de los obreros. Con respecto á lo primero, ó sea al avance de frente, la fig. 129 puede darnos idea de ello, suponiendo que una primera brigada de operarios

principia el trabajo arrancando el prisma 1 en la dirección del prisma 2, y que al terminar este desmonte y disponerse para hacer lo mismo con el prisma 2, una segunda brigada principia el derribo del 2'. Se comprende que, si la naturaleza de la capa 1, 2, 3, 4 es igual á la de la 2', 3', 4', al terminar la primera brigada el derribo del prisma 2, también la segunda terminará el del prisma 2', y podremos, por lo tanto, disponer que al comenzar las anteriores brigadas su cometido, respectivamente, con los prismas 3 y 3', una tercera brigada arremeta contra el prisma 3'', y así sucesivamente. De esta manera, es evidente que en un trecho relativamente corto, pues cada uno de estos bancos supone un avance de sólo unos pocos metros y una altura de 2 metros ó poco más, tendremos un número crecido de operarios que trabajarán cómodamente y sin temor de peligro ninguno procedente del trabajo de las brigadas situadas en los bancos superiores.



Figs. 125 y 126

La manera de efectuar estos desmontes por bancos en el caso en que los trabajos sean de grandes vuelos, es tal como indican las figs. 125 y 126, en las que se ve en cada banco abiertas unas galerías cortas de frente, comunicando luego todas ellas por su fondo con una galería transversal. Esto supone, pues, una serie de pilares ó columnas que sostienen el voluminoso prisma de tierras que en la proyec-

ción vertical (fig. 125) está indicado por dos líneas de puntos, pilares que si se descalzan, si se recortan, adelgazándolos por su base serían insuficientes para sostener dicho prisma si no se le apuntalase con fuertes maderos. Éstos, en cuanto se han recortado lo suficiente todos los pilares, se echan en tierra tirando fuertemente de ellos por medio de cuerdas atadas en su parte inferior, con lo cual se viene abajo todo el prisma que sostenían, que con el choque de la caída se desmenuza considerablemente, facilitando el desescombrado.

Otras veces se procede á estos desmontes clavando á igual distancia del frente, distancia que varía según la consistencia de la roca, una serie de estacas que interesen hasta bastante profundidad el prisma que se quiere arrancar (fig. 127); y una vez todas estas estacas clavadas, y anudadas en cada una de sus cabezas, que se dejan sobresalir bastante del suelo, una fuerte cuerda, dos ó más operarios tiran juntos de cada una de ellas desde el banco inferior y se derriba así una porción considerable del banco, que ha de haber sido descalzado convenientemente por su parte inferior como ya indica la figura.

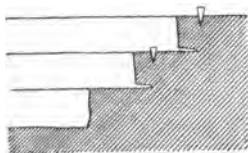


Fig. 127

Respecto al talud prudencial que debe darse á las paredes de la zanja, es preferible disponerlo en varias secciones en vez de construir un solo talud como en tiempos anteriores. El modo de calcular ó dibujar el perfil de este talud lo enseñan los Tra-

tados de construcciones civiles y no hemos de meternos en ello; sólo haremos resaltar que entre los taludes de cada dos secciones consecutivas quedan unas banquetas por las cuales se hacen circular los peones, carros, vagonetas ó locomotoras que hayan de transportar hasta donde no estorben los estériles y tierras arrancadas, y hasta la superficie el mineral obtenido.

Beneficio á cielo abierto por lavado

La explotación por lavado se aplica, generalmente, á los terrenos diamantíferos, á las arenas auríferas y á los aluviones estañíferos ó platiníferos.

Los diamantes se encuentran en terreno pedregoso, de naturaleza cuarzosa y muy á menudo ferruginosa, constituyendo á veces, por agregación, rocas bastante duras.

Este terreno se encuentra, generalmente, á poca profundidad, en los valles, con preferencia en el fondo y no en las vertientes de ellos, y á menudo en los techos de los ríos ó torrentes, siendo preciso, en este último caso, para emprender la explotación, variar el curso de estos ríos ó torrentes, con el fin de que se puedan arrancar y recoger estas tierras para lavarlas y buscar en ellas los diamantes.

El lavado se efectúa al aire libre ó en cobertizos, bajo los cuales hay veinte ó más cajas ó compartimientos de 3 á 4 metros cuadrados, hasta los que se hace llegar abundante agua por medio de canalizos de madera. En cada una de estas cajas hay un operario que recibe de 25 á 40 kilogramos de tierra,

para lavar la cual extiende en la caja, removiéndola en contacto con el agua que se lleva así la parte terrosa, mientras que él va separando las piedras de mayor tamaño y examinando luego las que quedan.

Los aluviones de oro del Brasil constituyen un aglomerado parecido al indicado para los diamantes. Se corta el terreno aurífero en forma de escalera, de peldaños espaciosos, en cada uno de los cuales hay varios obreros que remueven la tierra con una pala, mientras va cayendo desde lo alto de la escalera ó del terreno una corriente de agua, formándose así una especie de fango que es arrastrado por la corriente hasta el último peldaño en que es recogido en una especie de cauce ó calicata. Á los cinco días se recoge la parte depositada, y conducida hasta otra corriente de agua, se la somete á un segundo lavado en pequeñas porciones, haciendo de manera que sólo quede en los recipientes en que se lava, la parte más densa, que es la que contiene más oro, y luego es tratada por mercurio para extraer el metal por amalgamación.

En el método americano se hace el descalce por medio de fuertes chorros de agua dirigidos contra las tierras auríferas que se quieren derribar. Las aguas, al chocar contra el terreno, lo van descalzando, y luego se escurren por él recogiéndolos al pie en forma de riachuelo que conduce las tierras arrastradas hasta un canalizo en que hay varios depósitos de mercurio, el cual, en contacto con las partículas auríferas, las amalgama.

También se explotan por un método análogo los aluviones estañíferos, y asimismo ciertos minerales de hierro y las arenas platiníferas.

Beneficio de la turba

La turba es una substancia combustible producida por la alteración espontánea de plantas herbáceas y acuáticas cuando se encuentran acumuladas en lugares pantanosos y muy húmedos. Forma una especie de bancos horizontales más ó menos potentes, generalmente recubiertos por terrenos de aluvión de pequeño espesor. Á veces hay varios bancos separados entre sí por delgadas capas de arenas ó aluviones.

Para beneficiar una turbera cubierta por el agua puede aplicarse una especie de dragado á mano ó mecánico, ó bien acudir á la conducción del agua que la cubre á niveles inferiores donde no estorbe para la explotación, desecando así el terreno, el cual, cuando ya presenta cierto grado de dureza es atacado con unos instrumentos cortantes, de hierro, con los cuales se obtiene cada vez una especie de bloque que se lleva luego á secar al aire libre ó en secaderos de un modo muy parecido al empleado para la desecación de los ladrillos.

Explotaciones subterráneas

Cuando los cálculos de comparación entre el beneficio á cielo abierto y el subterráneo, arrojan una diferencia á favor del laboreo subterráneo, ó bien cuando las condiciones del filón obligan ya, evidentemente, á proceder

mediante la perforación de minas ó vías subterráneas, se hacen los primeros estudios ya con miras á esta última clase de disfrute.

Repetimos que son innumerables los métodos seguidos actualmente; pero estudiados en su fundamento se ve que descansan sobre tres únicos principios que son:

Beneficio por abandono de macizos.
Beneficio por relleno.
Beneficio por hundimiento.

Es evidente que si extrajéramos toda la masa de un filón ó banco, se nos formaría una extensísima cámara de techo más ó menos elevado; cámara en que, según la inclinación del criadero, su techo y su suelo podrían llegar á ponerse verticales, y, por lo tanto, se transformaría en una inmensa grieta cuyos labios estuviesen separados por una distancia igual (ó mayor) que la potencia del filón. Pero se comprende que tales cámaras, aun considerando este último caso, son incompatibles con la estabilidad que exige la acción de la gravedad á que todo cuerpo, pequeño ó grande, está sometido, y será, por lo tanto, necesario sostener este techo por medio de pilares, de columnas, al igual que se hace en las construcciones levantadas en la superficie para nuestro uso cuotidiano.

Estos pilares pueden construirse artificialmente con los materiales propios de todas las demás construcciones; pero esta manera de obrar encarecería en tal grado la unidad de materia útil arrancada que, salvo excepciones muy contadas, por ejemplo, el

beneficio del cinabrio en Almadén, y en general, salvo los casos de beneficio de materias de gran valor, ha de ser necesariamente ruinoso. Se considera, pues, mucho más beneficioso dejar parte del mineral sin extraer, con lo cual, naturalmente, quedan formados unos pilares que son suficientes para evitar que el techo se nos venga abajo. En esto consiste el sistema de beneficio por abandono de macizos, que puede aplicarse con gran número de variantes, que no intentaremos siquiera esbozar para no ser demasiadamente extensos. Es por demás decir que la sección y distribución de estos pilares ha de ser calculada previamente con objeto de que puedan sobradamente resistir las presiones del terreno.

Pero este método, llamado por *abandono de macizos,* puede representar un perjuicio para la explotación por el valor del mineral abandonado. Y como, por otra parte, en toda mina, como también en la preparación mecánica de los minerales de ella extraídos, se produce cierta cantidad de estériles, cantidad que, según las condiciones del criadero, puede llegar á ser un engorro para su colocación en lugar donde no estorben ó donde no nos obligue á pagar alquileres por los terrenos ocupados, se pueden salvar ambos inconvenientes por aplicación del llamado *sistema por relleno ó ativación,* consistente en llenar con este estéril el hueco dejado por el mineral arrancado, con lo cual, sostenido ya el techo mediante estos pilares artificiales, puede procederse al derribo de la materia que en el primer momento se había respetado para seguridad perso-

nal, al igual de lo que ocurría en el sistema por abandono de macizos.

Como materiales de relleno se emplean, por lo general, los de naturaleza pétrea; por ejemplo, los escombros de la perforación de galerías y pozos, si su composición ó consistencia no los hace impropios, y los estériles procedentes del estrío de los minerales arrancados. Y si no hubiese suficiente cantidad de ellos, se labran galerías ó cámaras especiales para obtener el suplemento necesario. También se emplean á veces las maderas de desecho, pero ésta es una práctica que no es de recomendar; y, por fin, modernamente se emplea el agua á presión, con lo cual, como es fácil de entender, se obtiene gran economía de mano de obra por un lado y de energía para el desagüe por otro.

Finalmente, en otras ocasiones la naturaleza de la masa mineral y la de la roca de caja permiten aplicar el llamado *sistema por hundimiento,* que está fundado en el aumento de volumen que sufren las tierras ó rocas simplemente sobrepuestas en montón. En efecto, suponiendo que el techo de una cámara de más ó menos grandes dimensiones no es de material suficientemente resistente, se derrumbará y caerá, en trozos grandes ó pequeños, sobre el suelo de la cavidad que limitaba. Pero al caer, el montón que se ha formado ocupará una dimensión mayor que la que primitivamente ocupaba en el techo, de manera que sucediéndose, de prisa ó despacio, el desprendimiento de la roca del techo, llegará un momento en que ya no podrá continuarse, por tocar el techo con la cúspide del

montón, y aquél quedará, en cierto modo, sostenido.

No obstante, no se detienen aquí los movimientos del terreno. El montón de escombros no toma desde el primer instante su forma definitiva. Las posiciones de equilibrio más ó menos estable de los fragmentos que lo constituyen dan lugar á sucesivos derrumbamientos parciales, hasta que han encontrado su definitiva estabilidad, lo cual ocasiona un movimiento de descenso paulatino de las partes superiores del montón, que á su vez, no sosteniendo ó equilibrando los empujes del techo con la eficacia que anteriormente, permiten un descenso regular, casi insensible, de este techo hasta el equilibrio estable.

Condiciones generales á que han de sujetarse las labores subterráneas

1.ª Conviene empezar la explotación por los puntos más alejados, con el objeto de no tener que frecuentar los sitios en que el trabajo ya está abandonado;

2.ª Que el transporte de las materias arrancadas pueda hacerse cómodamente por el interior de la mina, y que su extracción hasta la superficie no sea muy onerosa;

3.ª Debe disponerse el conjunto de excavaciones de manera que se facilite una enérgica ventilación;

4.ª Es conveniente reunir en un mismo punto el mayor número de obreros, pero sin que se estorben entre sí, porque así los trabajos avanzan con mayor rapidez, y se tiene una gran ventaja por la

economía de alumbrado y por la vigilancia rigurosa que se puede observar. Por lo tanto, las cámaras ó galerías de ataque estarán próximas entre sí;

5.ª Los puntos explotados no se abandonarán hasta su completo agotamiento, y de modo que el disfrute se haga rápido. Así, en determinados métodos podremos economizar gran cantidad de madera de la destinada al entibado; y

6.ª Deberá hacerse un estudio concienzudo del desagüe y de la ventilación.

Clasificación de las labores subterráneas

Á pesar de que los tres principios acabados de citar podrían permitirnos una clasificación muy racional para la exposición de los métodos de laboreo, vamos á presentarlos aquí ordenados según se ofrezcan las condiciones de potencia é inclinación del criadero cuya explotación se deba emprender. Por lo tanto, nos ocuparemos de ellos formando un grupo con los filones ó capas de potencia inferior á dos metros y otro con los de potencia superior á dicha dimensión.

Beneficio de los criaderos de pequeña potencia

Diferentes métodos son aplicables en este caso, según sea la inclinación del filón:

1.º Inclinación comprendida entre 90º y 45º	Método por bancos ó en rebajo. Método por testeros ó en realce.
2.º Inclinación comprendida entre 45º y 0º	Método por escalones echados. Método por grandes tajos. Método por galerías y pilares.

Método por bancos ó en rebajo. — Ante todo, se divide el yacimiento en macizos *A*, *B*, *C* (fig. 124), por medio de pozos inclinados y galerías horizontales, y luego se procede á la explotación de cada uno de estos macizos.

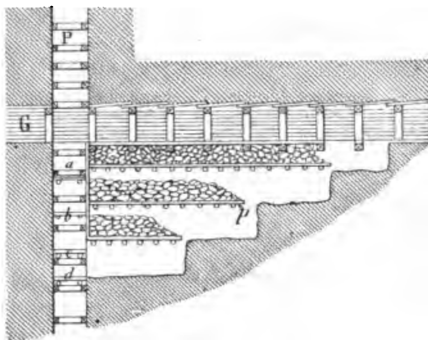


Fig. 128

Se coloca un minero en *a* (figura 128), sobre una plataforma, y arranca un paralelepípedo 1 (fig. 129) de 2 metros de altura y de 8 á 10 metros de longitud; entonces se coloca un segundo minero en *b*, y mientras éste arranca el paralelepípedo 2', el primer minero arranca el 2, y así por el estilo, de igual manera que se ha explicado en las labores á cielo abierto, sin más diferencia que allí eran brigadas de operarios y aquí es sólo uno el operario encargado del derribo de cada paralelepípedo.

1	2	3	4
2'	3'	4'	
3''	4''		
4'''			

Fig. 129

Por otra parte, á medida que el minero se aleja del pozo *P* va construyendo un entarimado ó camada cuyos estemples están apoyados por sus extremos en el suelo y techo de la grieta en que estaba armado el criadero, sobre el cual dispone los escombros ó zafra procedentes del estrío ó escogido del mine-

ral que otro operario va efectuando á medida que el minero lo arranca.

De cuando en cuando se dejan entarimados sin llenar de escombros que sirven para conducir el mineral escogido hasta el pozo para su extracción á la superficie. La circulación de los obreros se hace por medio de escaleras de mano colocadas desde el suelo de un banco hasta la arista *p* del banco inmediato superior.

En este método el obrero trabaja en posición cómoda y arremete contra la roca que le presenta dos caras al descubierto. No tiene que temer los derrumbamientos superiores, pues las traviesas que sostienen los entarimados, en que se colocan los escombros, sirven de entibado ó fortificación para sostener el techo del filón, por lo cual puede vaciarse toda la masa del filón, reemplazándola por los escombros. Además, la ventilación no se dificulta, pues el aire puede circular libremente por debajo de los entibados que aseguran la solidez de la labor y sostienen los escombros.

Método por testeros ó en realce. — Este método (fig. 130) difiere del anterior en que el trabajo es ascendente, es decir, se hace de abajo hacia arriba.

El primer minero se coloca en *a* sobre un entarimado situado al nivel del techo de la galería *G* y arranca un paralelepípedo 1 (fig. 131) de 2 metros de altura y de 9 á 10 metros de longitud; después, un segundo operario, sostenido por el entarimado colocado en *b*, á 2 metros por encima del anterior *a*, arranca un paralelepípedo 2' de iguales dimensiones

que el antes dicho 1, y entretanto el primer minero arranca el paralelepípedo 2; luego empieza otro minero á derribar el paralelepípedo 3" y los dos primeros arrancan los 3 y 3', y así sucesivamente, presentándose el trabajo con el mismo aspecto de una escalera vista por la parte inferior.

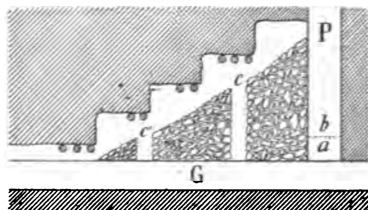


Fig. 130

Al igual que en el método por rebajo, se sostienen las paredes por medio de estemples apoyados en el techo y piso del criadero; y en cuanto á los escombros, se les amontona sobre un entarimado fijo y muy sólido que hace las veces de techo de la galería *G*, y que se va construyendo á medida que el primer minero avanza. También podría construirse una bóveda de mampostería. De trecho en trecho se amontonan los escombros de manera que nos dejen unos huecos en forma de pozo ó *coladero* *c*, *c'*, por los cuales se baja el mineral ya escogido á la galería inferior, por la que se le conduçe hasta el pozo maestro.

			4'''
		4"	3"
	4'	3'	2'
4	3	2	1

Fig. 131

Cuando el montón de escombros es lo bastante elevado, el minero se coloca sobre ellos para trabajar; mientras llega esta ocasión ha de situarse sobre un entarimado móvil que hace avanzar á medida que va adelantando en su trabajo.

Comparando estos dos métodos de explotación, se ve que uno y otro presentan ventajas é inconvenientes. En el método por bancos se puede trabajar más cómodamente y se está en completa seguridad; pero se necesita enorme cantidad de madera para sostener los escombros, madera que ya queda perdida. En el método por testeros el minero trabaja algo incómodo, pero el peso de las masas le facilita el arranque y emplea menos madera, con lo cual hay notable economía de tiempo y madera; mas, en cambio, el estrío del mineral es difícil, porque al caer los bloques arrancados, el mineral, que suele ser más quebradizo que la ganga, se desmenuza y se introduce por entre los huecos que presentan los escombros amontonados, mezclándose con ellos, y se acarrean notables pérdidas de él, aunque se ponga minuciosa atención, á causa de la poca luz de que se dispone. De todos modos, este método es más usado que el en rebajo.

Método por escalones echados. — Este método se emplea sólo en los filones de muy pequeña potencia.

Después de dividir el filón en macizos por medio de galerías de dirección ó longitudinales y de pozos inclinados ó galerías ascendentes [1], se coloca el primer minero en la extremidad inferior del pozo y empieza su trabajo en la dirección del banco ó filón, y cuando ya ha avanzado algunos metros, el segundo minero empieza la segunda labor, atacando

(1) Si el criadero es muy inclinado, se abre el pozo según una línea intermedia entre la inclinación y la dirección.

también el mineral, siguiendo la dirección del filón, y por encima del trabajo del primer minero, de igual manera que se ha dicho en el método por testero ó realces, con el cual presenta cierta semejanza, pues que en definitiva viene á tener su aspecto, pero con los escalones más ó menos echados, según la inclinación del yacimiento. La altura de cada escalón viene á ser de 75 á 80 centímetros, según la potencia del criadero, de manera que el minero se ve obligado, en muchos casos, á trabajar de lado y tendido en el suelo, especialmente en las partes poco inclinadas. Á este trabajo se le llama á *cuello torcido;* y á medida que el operario avanza, va sosteniendo el techo por medio de estemples, pero dejando el paso necesario para el transporte de las menas, el cual se efectúa por otros operarios que también se ven obligados á arrastrarse como los mineros y estirando el carretoncito ó narria con una cuerda que llevan sujeta á uno de sus pies.

Método por grandes tajos.—Este método es completamente diferente de los anteriores y se aplica á la explotación de criaderos poco inclinados, de pequeña potencia y que rindan gran cantidad de zafra. Se divide el yacimiento en macizos cuya longitud depende del número de obreros que se quieran hacer trabajar de frente, y se arranca todo el macizo á la vez, es decir, que los obreros avanzan por igual en toda la línea. El mineral se estría inmediatamente, y con la zafra van formando un muro que irá adquiriendo cada vez mayor espesor, que nos sostiene el techo del filón. Entre este muro

y los operarios se deja constantemente un espacio de 4 á 5 metros para que se pueda trabajar holgadamente; pero para que no se nos derrumbe el techo, se colocan unos maderos que nos lo sostengan; maderos que se van quitando á medida que va avanzando el muro de escombros.

Cuando se encuentran masas estériles, no se derriban, sino que se les da la vuelta; queda así un pilar ó columna que nos ahorra la formación del muro de zafra y que nos aseguran más solidez que cualquier obra artificial.

Este método es muy expedito, porque permite utilizar un gran número de obreros á la vez, pero sólo puede emplearse para substancias poco duras, porque nos presenta la masa que debe arrancarse sólo por una cara.

Método por galerías y pilares. — Se divide el yacimiento en macizos que se arrancan luego sucesivamente, pero dejando ciertas partes ó pilares que nos sostengan el techo. Para ello se perforan en el macizo, á distancia preestablecida, galerías paralelas, que luego se cortan perpendicularmente con otras galerías, dejando también cierto intervalo entre unas y otras.

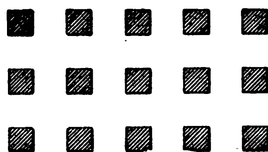


Fig. 132

Se obtendrán así una serie de pilares (fig. 132) que aseguran la estabilidad de la construcción y cuyas dimensiones dependen de la consistencia del yacimiento y de su inclinación. En la figura se ven

todos de sección cuadrada, pero también pueden tener sección rectangular, en cuyo caso su mayor lado se dispone en el sentido de la inclinación. Tampoco es necesario que sean todos de igual dimensión, sino que ésta dependerá de la consistencia del criadero en el punto de que se trate.

Este método es uno de los más sencillos, pero tiene el inconveniente de ocasionar la pérdida de gran parte de la substancia explotable, lo que restriñe su uso á los yacimientos de mineral de poco valor ó pobres, y que dan poca cantidad de escombros. Lo que suele hacerse en muchos casos es dejar los pilares en los sitios de mayor pobreza, si bien esta disposición implica poca regularidad en los trabajos y gran escrupulosidad en el encargado ó capataz para fijar el espaciamiento y sección de los pilares.

Explotación de yacimientos de gran potencia

Los métodos hasta aquí expuestos son de fácil aplicación, cualquiera que sea la inclinación del criadero; pero al tratarse de yacimientos ya relativamente potentes aumentan las dificultades, en especial cuando son de poca consistencia, debiéndose aplicar métodos particulares, según los casos.

1.° Yacimientos sólidos y consistentes	Método de galerías transversales. Método por galerías y pilares.
2.° Yacimientos poco consistentes	Método por derrumbamiento. Método por pilares y ativación.

Método por galerías transversales.—Este método es muy ventajoso, pues permite extraer toda la masa

del yacimiento y da gran seguridad á los obreros. Empiézanse los trabajos por la parte más baja que quiera explotarse actualmente á cuyo punto llegaremos ya por una galería transversal, ya por un pozo y galería transversales, como se ha explicado anteriormente.

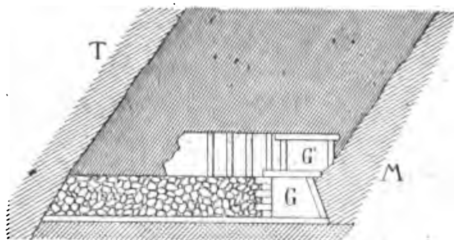
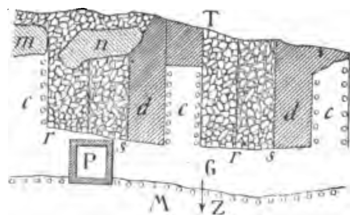


Fig. 133

En el piso *M* del filón (fig. 133) se abre una galería *G* longitudinal (figs. 134 y 135) á partir de la cual se atacará el filón por varias galerías transversales análogas á la *a* de unos 3 metros de frente, y dejando entre ellas un espacio en que se puedan abrir otras tres ó cuatro galerías más *b*, *c*, *d*. Estas galerías se continúan hasta llegar al techo *T* del filón, siendo necesario afianzar contra el empuje de las tierras superiores. El mineral se estría en esta misma galería á medida que es arrancado, arrimando los escombros á sus paredes, y cuando ya el minero ha lle-





Figs. 134 y 135

gado á perforarla toda, se van colocando de manera que la rellenen toda y así puede retirarse la madera del entibado á medida que se va ativando con escombros [1].

Cuando las galerías *a*, *a*, están por completo ativadas, se empieza el laboreo de las inmediatas *b*, *b*, *b*, del mismo modo efectuado en las *a*, y luego se procede al de las *c*, *c*, *c*, etc., y si en la explotación encontramos partes estériles, se les da la vuelta y se les dejan como pilares *m*, *n*, del modo indicado en uno de los métodos anteriormente expuestos.

Durante la explotación del piso *A* (fig. 134) ya debe prepararse la explotación del piso superior *B*, abriendo un pozo *P* ascendente y una galería longitudinal *G'* encima de la *G*; se abren inmediatamente las galerías transversales *a' a'* y luego, ya ativadas las anteriores, las *b' b'*; y así sucesivamente iríamos disfrutando del criadero por pisos hasta la superficie ó agotarlo.

La galería inferior *G* sirve de vía de transporte para cada ocho ó diez pisos, por lo cual debe ser debidamente resistente y hasta que el muro *r s* sea de piedra en seco, con objeto de poder establecer sobre él los apoyos para las zafras de los pisos superiores. Los minerales ya estriados se bajan de los pisos superiores á la galería *G* por los pozos *P* que se han abierto para ir ascendiendo en la explotación.

(1) Si se creyese probable una ulterior explotación, en profundidad mayor, la zafra no se coloca directamente en el suelo, sino sobre un entarimado para que en la próxima explotación podamos excavar por debajo sin temor de que se nos venga encima el ativado antiguo.

Si no hubiese suficiente cantidad de zafra para rellenar completamente las partes derribadas, se abriría una galería transversal en sentido *z*, opuesta al de las galerías de explotación, y en su extremidad practicaríamos una vasta cámara, cuyos escombros servirían para suplir los que faltasen para terminar el ativado.

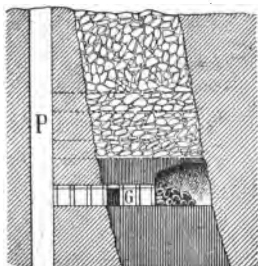
Este método es ventajoso: 1.º Porque puede extraerse todo el mineral; 2.º No hay que temer derrumbamientos; 3.º Hay economía de material de entibación; y 4.º Porque la masa, excepto de las galerías *a*, ya se nos presenta al descubierto por dos, tres y hasta cuatro caras.

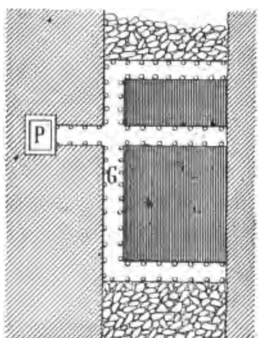
Método por galerías y pilares. — Se divide el criadero en pisos por medio de galerías de dirección ó longitudinales, perforados en diversos niveles, y luego se explotan sucesivamente estos pisos por dos sistemas de galerías, perpendiculares ó no entre sí, de manera que nos dejen pilares de suficiente resistencia. Es preciso cuidar sobremanera de que los pilares de los diversos pisos vengan superpuestos de un modo exacto, pues si no se correría peligro de que todo se viniese abajo.

Es método poco ventajoso por la gran cantidad de material útil que debe abandonarse, por lo que sólo se le emplea para minerales de poco valor.

Método por hundimiento. — Este método se aplica para los minerales quebradizos y deleznables; se abre un pozo en terreno estéril y por el lado del piso, y en la parte superior de él se abre una

galería transversal, para ir á cortar el filón por el yacente, prolongándola hasta el techo; esta galería se afianza cuidadosamente, como asimismo la galería longitudinal *G* que se prolonga unos 100 metros por cada lado, lo cual sirve de punto ó base para los sucesivos hundimientos. Para ello (figs. 136 y 137), unos mineros abren una primera transversal en las extremidades de esta galería *G*, hasta el techo, fortificando tras ellos, y cuando ya se ha llegado al techo, se quitan las ademas de apuntalamiento empezando por la extremidad, ó sea junto al techo, y se provocan así hundimientos sucesivos que suelen propagarse hasta una altura de 4 metros por encima del techo de la galería. Se abre luego una galería al lado de ésta y se hace igual operación hasta agotar el mineral en este piso de la explotación, ó sea hasta llegar á la primera galería transversal procedente del pozo *P*. Terminada en este piso la explotación, se habilita otro 6 metros más abajo.





Figs. 136 y 137

Se debe conducir este método con muchas precauciones, pues es peligroso. Además, el mineral

es de difícil estriar porque hay mucha ganga ó estéril mezclado, y, por fin, las aguas de la superficie se introducen fácilmente en la explotación. En cambio, es económico en mano de obra y entibado.

Método por pilares y ativación.—Se ataca al criadero por su parte más baja, en cuyo nivel se abre una galería de 2 metros de altura en la cual se practican transversales con un espacio para pilar. El obrero fortifica á medida que avanza, pero en llegando al pendiente ó techo, quita las ademas y rellena con zafra. Terminados estos trabajos en todas las transversales, se dispone otro piso superior, también de 2 metros, y en el cual se abren también transversales precisamente encima de las anteriores, y así continuando hasta la superficie; de manera que habremos dejado una serie de pilares, desde la parte más profunda hasta la superficie, y los huecos completamente ativados.

Pasado algún tiempo, es decir, cuando la zafra ha tenido tiempo de asentarse, se ejecutan análogas operaciones, empezando por abajo, derribando los pilares y dejando el relleno de la anterior operación como pilares.

III

CASOS ESPECIALES DE BENEFICIO

Las tierras saladas, los yacimientos petrolíferos y algunos otros, requieren métodos especiales de beneficio en consonancia con las condiciones particulares en que se presentan estos yacimientos.

Beneficio de las tierras saladas

Se verifica inundando vastas cámaras que se labran en el extremo de galerías inclinadas, para que el agua disuelva las sales que van mezcladas con la tierra, presentando un grado conveniente de saturación á unos 20° *Bé*, lo que se verifica por término medio á las seis semanas de contacto. Se extrae el agua, se clarifica por reposo, se lleva á los edificios de concentración y luego á las calderas de evaporación.

En vez de seguir este procedimiento intermitente puede seguirse otro método continuo, en el cual se introduce el agua en pequeñas porciones y á menudo, para substituir la que de cuando en cuando de la parte baja (como la más saturada) se va extrayendo. De esta manera la cámara está constantemente llena, salvo los casos en que, para la conveniente estabilidad del techo de las cámaras, se vacía con el fin de dar á la cavidad la forma más apropiada para la seguridad personal y para el más completo agotamiento de la masa salina.

Beneficio de los yacimientos petrolíferos

Los yacimientos petrolíferos son beneficiados por sondeo. Al llegar la sonda al depósito de petróleo sale éste de la superficie por la presión á que, por lo general, estaba sometido. Mana así por tiempo corto ó largo, según la importancia de la masa líquida, y luego se agota por succión por medio de bombas.

En estos sondeos, en ocasiones no se encuentra masa líquida, sino únicamente productos gaseosos que, por su cantidad, que casi podríamos llamar inagotable, son perfectamente beneficiales, á cuyo objeto se les canaliza para destinarlos á calefacción, alumbrado y fuerza motriz.

Beneficio de los criaderos de azufre

De entre los varios procedimientos empleados, el ideado más modernamente para la extracción del azufre de sus yacimientos consiste en la perforación de sondeos, por cuyo agujero se introducen unas tuberías concéntricas. Por una de ellas se inyecta vapor á presión, con lo cual se funde el azufre del criadero en un radio bastante extenso á partir del extremo de la tubería; y la misma presión del vapor obliga al azufre fundido y al agua condensada á subir por otra de las tuberías. Como es natural, ha de procurarse que la temperatura de la columna ascendente de azufre fundido no descienda hasta su punto de solidificación, pues de lo contrario quedaría obstruída la circulación.

CAPÍTULO XI

I

PREPARACIÓN MECÁNICA DE LAS MENAS

Necesidad de la preparación mecánica de las menas antes del tratamiento metalúrgico

Los minerales que nos presenta la naturaleza vienen, generalmente, mezclados con ciertas substancias extrañas, que reciben el nombre de *ganga*. Además, al ser arrancados de sus yacimientos se mezclan más ó menos con parte de la roca de caja, constituyendo, por tanto, una nueva materia de impurificación. Y por fin, es también sabido que muchas veces se presentan dos ó más especies metalíferas en un mismo yacimiento.

Respecto á las dos primeras de estas causas de impurificación, es evidente que será necesario eliminarlas, desde el momento que haríamos sufrir á una substancia inútil para los fines metalúrgicos, el tratamiento á que debe someterse el mineral, lo cual nos representaría un aumento de gastos de fabricación que encarecería el producto final y que

hubiera podido ahorrarse. Por otra parte, los minerales, en muchos casos, no presentan suficiente riqueza para ser tratados económicamente, imponiéndose su concentración ó enriquecimiento por eliminación de las substancias inútiles.

Otras veces las substancias no sólo son inútiles, sino que dificultan las reacciones que deben verificarse en el tratamiento metalúrgico, ó vienen á ser un inconveniente para su empleo, como sucede con las hullas piritosas, que destruyen rápidamente los emparrillados en que son quemadas.

Por fin, puede suceder que la sola separación de determinados elementos contenidos en los minerales nos represente un aumento de precio relativamente considerable llegada la ocasión de su venta. Y hasta, á veces, la simple distribución de un mineral en grueso y en menudo supone un aumento de valor en el grueso que paga con creces los gastos de dicha separación.

Por lo indicado se ve claramente el objeto de la preparación mecánica de las menas ó minerales metalíferos, ó sea separar la parte inútil de la parte útil de los minerales, ya se encuentre ésta en partículas más ó menos diseminadas en la ganga, ya en partículas libres más ó menos gruesas; ó bien efectuar una clasificación por tamaño de los distintos trozos de mineral.

Límites de la preparación mecánica de las menas

Sin embargo, debe tenerse muy presente que el aumento de coste del mineral que nos representa esta purifi-

cación tiene un límite del que no puede pasarse, límite que viene marcado por el aumento de valor que adquiere el mineral y por el tanto por ciento de pérdida que sufre por el mero hecho de su concentración. Hay también un límite inferior, que es la riqueza exigida por el mercado, pues el consumidor no acepta, ó, cuando más, paga á menor precio los minerales que por su exigua riqueza no están en condiciones de ser utilizados.

Por lo general, sólo son susceptibles de enriquecimiento los minerales de valor medio, pues los minerales de mucho valor no es conveniente concentrarlos, porque las pérdidas representan en seguida un valor relativamente grande, y los minerales de poco valor no pueden soportar gastos que los encarecerían en exceso.

Condiciones en que debe efectuarse este trabajo

Estas operaciones deben verificarse á mano ó mecánicamente. Por lo general, se hace el trabajo á mano cuando el mineral se encuentra en trozos mayores de cinco centímetros, y se recurre al empleo de aparatos mecánicos cuando se trata de minerales venidos en trozos menores de tres centímetros. Debe hacerse, sin embargo, una advertencia sobre este punto, y es que siendo, por lo general, el trabajo á mano mucho más caro que el trabajo de las máquinas, nos veremos precisados á emplear trabajo mecánico ya con trozos mayores de tres centímetros, cuando se trate de minerales pobres ó de muy poco valor, incapaces de resistir el aumento de coste que

supondría el trabajo á mano. Al contrario, emplearemos el trabajo á mano en trozos menores de tres centímetros cuando se trate de minerales muy ricos y de mucho valor.

Nomenclatura

Cuando el mineral se presente en trozos mayores de 6'5 centímetros recibe el nombre de *grueso;* los trozos menores de dicho tamaño se llaman *menudo.* Por lo general, se les da las siguientes denominaciones, según el tamaño:

Á granel	Grueso: trozos mayores de 6'5 centímetros.		
	Menudo: trozos menores de 6'5 cm. . .	Mineral de monda.	De 65 á 30 mm.
		Granzas	De 30 á 1'5 »
		Arenas.	De 1'5 á 0'25 »
		Lodos.	De 0'25 á polvo impalpable.

Los minerales ya tratados mecánicamente y susceptibles, por consiguiente, de tratamiento metalúrgico se llaman *producto acabado;* y los que se obtienen durante el transcurso de las operaciones, necesitando, por tanto, ser operados todavía ulteriormente, se llaman *productos mixtos,* ó simplemente *mixtos.*

Finalmente, llamaremos *estéril* á la parte inútil del mineral, la que precisamente se trataba de eliminar, como son la *ganga* y los trozos de roca del terreno en que estaba contenido el filón en la naturaleza.

Estrío de las menas en el interior de la mina

El estrío en el interior de la mina, es una de las opera-

ciones más importantes, ya que en algunos casos basta con ella para dar el mineral como producto susceptible de tratamiento metalúrgico, ó, por lo menos, nos facilita en gran manera las operaciones ulteriores de la preparación.

Cuanto más pobres son los yacimientos, mayor es la proporción de ganga que contiene el mineral. Y por otra parte, cuanto más de distinta naturaleza sea esta ganga en los varios puntos de la explotación, con más minuciosas precauciones deberá ser efectuado este estrío preliminar si se quiere que luego las operaciones ulteriores de la preparación den mejores y más útiles resultados.

Dos objetos tiene el estrío en el interior de la mina.

Primeramente, la *eliminación del estéril,* operación que debe limitarse en general á un examen detenido de los diversos trozos de mineral para eliminar lo que sea puramente ganga ó roca, con objeto de que el volumen ó peso de mineral que deba ser extraído de la mina no sea tan considerable, pues que así lograremos, de una parte, disminución de gastos de extracción, y, por otra, disminución de gastos de preparación. Debe, sin embargo, tenerse muy en cuenta si dicha economía lo es realmente, es decir, si dicha disminución de gastos remunera el trabajo invertido en el estrío.

Generalmente, esta operación se verifica con los utensilios del minero, rompiendo los trozos de difícil transporte ó los que presenten francamente una parte de estéril y otra de útil. Téngase presente

que en determinados casos, el estéril es un material importantísimo en una explotación minera para el sostenimiento de tierras y que, por lo tanto, es éste otro dato que el ingeniero deberá tener muy presente para determinar el límite á que deberá ser llevado el estrío en cuestión.

En segundo lugar, debe verificarse simultáneamente una *separación de las diversas especies minerales,* que es una operación en ocasiones mucho más importante que la eliminación del estéril por cuanto nos ahorra determinadas operaciones ulteriores, puesto que las menas llegan ya clasificadas al taller de preparación mecánica, donde queda eliminada esta operación de clasificación ó, por lo menos, muy simplificada.

Esta clasificación no nos impone gastos crecidos, si se dispone de suficiente número de vagonetas ó de narrias para ir distribuyendo las diversas clases á medida que se van separando; y luego, cuando de una misma clase ya se tiene el número necesario de vehículos cargados para llenar la cuba de extracción de la mina, se procede á llenarla con su contenido. El único gasto que esto supone es el de un buen personal de vigilancia para que la operación se haga con la escrupulosidad requerida.

Además de las dos operaciones antes dichas, es conveniente, cuando en la explotación se encuentran minerales nativos ó minerales de mucho valor y en masas compactas y fáciles de separar de los demás trozos, verificar una separación especial para dichas substancias, siendo recomendable introducirlas en

sacos ó cajas ya desde el pie de las canteras y efectuar en esta forma su extracción de la mina, pues que así evitaremos pérdidas y desmenuzamientos que siempre es bueno ahorrar. Esta separación de menas de mucho valor, exige obreros muy experimentados y una gran pérdida de tiempo. Es también de advertir que una comparación de los gastos con los beneficios que representa esta operación, es la norma que guiará al ingeniero para fijar el límite hasta que deberá ser llevada.

Apartado de las menas en grueso y menudo

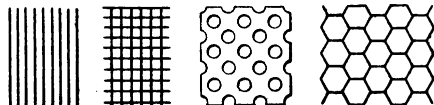
Los minerales extraídos de las minas llegan al taller de preparación mecánica en trozos sueltos de distintas composiciones, pues mientras unos contienen sólo mineral útil ó principal, sin gangas ni otras especies metalíferas, en otros, junto al mineral útil, hay ganga ú otros minerales, y en otros sólo se encuentra muy pequeña porción de materia útil. Por otra parte, la mena puede ofrecer el mineral en porciones de mayor ó menor tamaño ó bien lo puede contener completamente diseminado en la masa de la ganga.

Los trozos sueltos de mineral útil se separarán de los demás mientras esto no nos represente gastos excesivos. Esta operación se hace á mano, y suele verificarse al propio tiempo una separación de los trozos de mineral que han permanecido adheridos á la ganga, para someterlos separadamente á las operaciones ulteriores.

Y si son varias las materias útiles mezcladas, se

obtendrán así otras tantas clases, que se someterán por separado á las operaciones subsiguientes.

Este trabajo á mano sólo puede efectuarse ventajosamente, salvo raros casos, con trozos mayores de 6'5 centímetros. Para tamaños menores es mejor emplear mecanismos apropiados, que suelen auxiliarse en su trabajo con el empleo del agua. Para efectuar, pues, en buenas condiciones este escogido, que comprende las operaciones de *monda* que describiremos dentro de poco, se requiere antes una separación en grueso y menudo, ó sea, en trozos mayores de 6'5 centímetros y trozos menores de dicho tamaño. Si se trata de cantidades relativamente pequeñas, se efectúa esta clasificación en grueso y menudo en los puntos de descarga del interior de la mina, extendiendo el mineral en el suelo y rastrillando el montón por medio de una azada de tres ó cuatro púas, separadas 6'5 centímetros.



Figs. 138, 139, 140 y 141

Cuando se trata de grandes cantidades, la separación se efectúa en el exterior por medio de *cribas*. Estas cribas pueden ser en forma de rejilla, de tela ó de plancha agujereada, siendo estas últimas las más convenientes para obtener trozos de volumen uniforme. El agujero de la plancha puede ser simplemente circular (algo cónico, con la base menor en la superficie superior de la rejilla) ó bien en forma de exágonos, para aprovechar más la superficie de la plancha (figs. 138, 139, 140 y 141).

Las cribas pueden ser fijas ó móviles; y en cuanto á forma, pueden ser planas ó cilíndricas (ó cónicas).

Para el cribado, que requiere la separación en grueso y menudo, se emplean cribas horizontales ó inclinadas, sobre las que se vuelca el mineral á medida que va llegando. Si la rejilla es horizontal queda el grueso sobre ella, el cual se somete inmediatamente al trabajo de monda, y debajo se recoge el menudo que se transporta á mano ó automáticamente á los aparatos (trómeles de desenlodamiento) en que debe ser tratado posteriormente.

Si la rejilla es inclinada, viene constituída por una serie de barrotes paralelos distanciados 6'5 centímetros y formando su conjunto una pendiente de unos 45°. El mineral se vuelca en la parte superior, el grueso resbala hasta el pie de la rejilla, donde se recibe en vagonetas para llevarle al lugar de su nuevo tratamiento, y el menudo la atraviesa amontonándose debajo.

Una y otra rejilla presentan ventajas é inconvenientes. Con la horizontal se obtiene un trabajo más exacto, porque en la rejilla inclinada se produce un resbalamiento que arrastra el menudo juntamente con el grueso. En cambio, se necesita más mano de obra para extender el mineral por su superficie, jornales que se suprimen en la rejilla inclinada.

Por otra parte, la rejilla inclinada presenta un inconveniente bastante grave, y es que por la violencia del choque recibido por el mineral al ser volcado y por el resbalamiento sobre la rejilla, se

produce mucho menudillo, que viene á aumentar las pérdidas de mineral, ya considerables en la preparación mecánica de minerales.

Por lo regular, el menudo representa el doble del grueso, ó sea, $^2/_3$ del mineral bruto.

Como modelos especiales de rejillas citaremos la rejilla Briart, á cuyos barrotes puede comunicárseles un movimiento de alza y baja para desobstruir la rejilla; la rejilla Briart-Guinotte, de hueco variable, y la rejilla inclinada de Saint-Etienne, que separa por sí misma el mineral en cuatro distintos tamaños.

II

TRABAJO DE MONDA

Apartado preparatorio para la monda

El grueso separado del menudo se somete inmediatamente á la monda ó trabajo de purificación, que comprende dos períodos: uno de preparación, que se efectúa siempre á mano, y otro definitivo, que puede verificarse á mano ó mecánicamente.

El trabajo preparatorio empieza apartando: 1.° Todos los bloques puros libres; 2.° Los trozos de mineral casi puro; 3.° Los trozos en que, mezclados con ganga, hay masas bastante voluminosas de útil para poder ser separado al estado puro; y 4.° Los estériles. De estas cuatro clases, las tres primeras se someten separadamente al trabajo de

monda propiamente dicho, y la cuarta, ó sean los estériles, se llevan al montón correspondiente de estéril ó desecho.

Los bloques que quedan después de la separación de las cuatro anteriores clases, contienen materia útil diseminada en partículas más ó menos finas en la roca filoniana, y se tratan como sigue: si son mayores de 15 centímetros, se les somete á una trituración que los reduzca á dicho tamaño. El menudo que resulta, ó sea todos los trozos menores de tres centímetros, se reúne al menudo obtenido en las rejillas horizontal ó inclinada. Los trozos mayores de tres centímetros se someten á un nuevo apartado preparatorio, y las clases obtenidas se reúnen á las cuatro separadas antes, esto es, una se echa al montón de estéril y las otras tres se destinan al trabajo de monda propiamente dicho.

Con lo que queda después de esta repetición del apartado preparatorio, pueden separarse otras varias clases, por ejemplo, cuando hay varias clases de gangas, y especialmente cuando estas gangas, favorables ó perniciosas para la separación, exigen una clasificación más minuciosa.

Un ejemplo aclarará este caso. Supongamos un mineral que contiene galena, blenda y siderosa, y como gangas, cuarzo y pizarras arcillosas. Si suponemos que domina la galena, las clases cuya separación se obtendrá para entregarlas separadamente á la monda ó *scheidage,* serán:

1.ª Galena pura.	4.ª Galena blendosa.
2.ª Blenda pura.	5.ª Galena y hierro espático
3.ª Siderosa pura.	6.ª Galena cuarzo esquistosa.

7.ª Estéril.

El trabajo preparatorio de la monda ha de ser forzosamente imperfecto, porque el tamaño considerable de los trozos de mineral impiden una delimitación exacta de las varias clases; es decir, que las clases establecidas contienen la especie que les da nombre sólo como dominante, además de las diversas gangas ó especies minerales que se presentan con importancia secundaria. Su único objeto es disminuir en lo posible la pérdida que ocasionaría una trituración innecesaria y perniciosa de los minerales puros y para facilitar y hacer más ventajoso el tratamiento de monda á mano. Cuando el mineral sólo contiene una especie mineral y estéril, esta monda preparatoria pierde mucha de su importancia.

Las operaciones de monda preparatoria se efectúan en mesas, que pueden ser circulares ó rectangulares, y al propio tiempo pueden ser fijas ó móviles. Las circulares presentan el inconveniente de ocupar mucho espacio, mientras que las rectangulares lo ocupan de manera que se aprovecha mejor.

Las mesas fijas suponen que cada operario estría y clasifica todas las especies que la mesa contiene; las mesas móviles permiten un perfeccionamiento del trabajo, pues cada operario está encargado de separar una sola especie mineralógica. En cambio, tienen el inconveniente de producir vértigo á los operarios, por tener que fijar su atención en objetos móviles.

Para obtener la trituración del mineral se emplean varios tipos de aparatos, representados principalmente por las quebrantadoras.

En las quebrantadoras americanas, también llamadas *cocodrilos,* la trituración del mineral se efectúa por la compresión entre dos superficies planas ó mandíbulas de acero fundido ó de fundición endurecida, una de ellas vertical y fija, y la otra, que es inclinada, tiene un movimiento de vaivén. Gracias á la sucesión rápida de estos movimientos y á la enérgica compresión que ejerce la mandíbula móvil, son triturados los fragmentos introducidos entre ambas mandíbulas. Esta trituración va efectuándose porque los trozos parcialmente aplastados en la parte en que las mandíbulas están más apartadas, resbalan, debido á las oscilaciones de la placa móvil hacia la parte inferior, cada vez más estrecha, hasta que, finalmente, son lo suficiente pequeños para poder pasar entre el espacio que separa las dos aristas inferiores de las placas.

Las mandíbulas suelen construirse de fundición y se les adapta unas placas de acero, que son las superficies que efectúan la trituración. De este modo se consigue gran duración del aparato, pues sólo se desgastan estas piezas cambiables.

El aparato suele llevarse á 250 vueltas por minuto, consumiendo, por término medio, 8 H. P. y unos 100 litros de agua por minuto. Para su servicio necesita dos obreros vigorosos.

La quebrantadora Mac-Cully, que nos da un rendimiento mecánico mejor que las americanas ó *cocodrilos,* consta esencialmente de una cavidad tronco-cónica, en cuyo interior se mueve una nuez de acero con movimiento de traslación muy poco amplio al rededor del eje de la cavidad, con lo cual

el mineral es aplastado entre la nuez y las paredes del recinto tronco-cónico.

Trabajo de monda

Se someten á la monda propiamente dicha los trozos de mineral puro y de mineral casi puro obtenidos en la monda preparatoria, y además los trozos de mineral considerado como puro en el estrío en el interior de la mina.

En esta operación ya principian á establecerse productos acabados ó susceptibles de tratamiento metalúrgico, pues el examen es bastante minucioso y los trozos bastante pequeños para permitir asegurar la homogeneidad de cada trozo separado.

Todas las clases que proceden de la monda preparatoria son aquí sometidas separadamente á las manipulaciones correspondientes. Esto tiene dos objetos: 1.º Hacer fácil el trabajo del obrero; y 2.º Poder recoger los fragmentos menores de tres centímetros resultantes de la trituración, que pueden ser vendidos como productos acabados ó ser sometidos aisladamente á las separaciones propias de la preparación de minerales, como ya veremos.

La monda ó *scheidage* de purificación de los fragmentos más ó menos puros ó ricos es sencilla, y consiste principalmente en una trituración á 4'5 centímetros y hasta menos, en la que todos los minerales y gangas que deben separarse son cuidadosamente reconocidos ó estriados y distribuídos á una ú otra clase de *productos acabados*.

Por el contrario, la monda de los trozos mixtos es mucho más delicada que la anterior, porque

también aquí, como en la monda preparatoria, débese poner especial cuidado en la clasificación, según la naturaleza de las gangas. Por lo tanto, será la monda tanto más sencilla cuanto menor sea el número de elementos que constituyan el mineral. Sin embargo, no debemos empeñarnos en hacer ya en esta operación una delimitación perfecta, pues considerando los gastos y los ingresos que de ella resultan, nos veremos obligados á dejar como productos mixtos ciertos fragmentos mezclados con especies secundarias.

La continuación del ejemplo antes citado aclarará estos conceptos. Es decir, sometemos á la monda las diversas clases antes obtenidas, y así logramos:

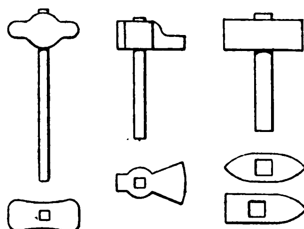
1.ª	Galena pura.
2.ª	Blenda pura.
3.ª	Siderosa pura.
4.ª	Galena pura. Blenda pura. Galena blendosa. Blenda plomiza.
5.ª	Galena pura. Siderosa pura. Galena y siderosa. Siderosa plomiza.
6.ª	Galena pura. Galena con cuarzo y pizarra. Estéril (cuarzo y pizarra).
7.ª	Estéril.

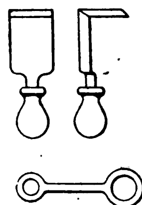
Monda á mano

El trabajo de purificación ó monda á mano se efectúa en espacios cerrados, bien alumbrados y ventilados, inmediatos á los de monda preparatoria. Cada obrero dispone de un yunque de fundición ó *banco de monda*, ante el cual se sienta para efectuar su trabajo por medio del martillo (figs. 142, 143 y 144), del rascador (fig. 145) y del anillo calibrador (fig. 146). Este último consta de un alambre de unos 15 milímetros de grueso, que

forma dos anillos, uno para el tamaño máximo y otro para el tamaño mínimo.

Las diversas clases obtenidas se colocan en cajas, que se suelen vaciar en otras mayores, donde se


Figs. 142, 143 y 144


Figs. 145 y 146

van acumulando los productos obtenidos por los varios obreros del taller.

La producción por obrero suele ser de 75 kilos por hora, habiendo un 6 por 100 de menudo.

Monda mecánica

Este procedimiento exige, además de los trituradores, otros aparatos mecánicos, de los cuales unos sirven para clasificar el mineral bruto triturado en pedazos mayores y menores de 3 centímetros, y los otros para favorecer el trabajo de clasificación y para continuar la preparación del menudo, mucho más abundante aquí que en la monda á mano. Se necesitan, además, importantes masas de agua para arrastrar fuera de los aparatos los minerales triturados, como también para clasificarlos y purificarlos. Por lo tanto, será conveniente que el local en que se efectúe esta operación esté

próximo no sólo de la sala de monda preparatoria, sino también de fuerza motriz disponible y de abundante agua. Por otra parte, con objeto de evitar el empleo de aparatos intermediarios, es indispensable aprovechar los desniveles naturales del suelo. Por ello es que en este taller el triturador está lo suficientemente elevado (2'70 metros) para que los minerales pasen por sí solos de dicho aparato á las mesas de trabajo, llamadas *mesas de klaubage*. El triturador debe estar 1'20 metros más bajo que la sala de monda preparatoria.

El transporte de las masas minerales de unos á otros aparatos, se efectúa de una manera mecánica. Así, el mineral llega en vagonetas hasta frente de una quebrantadora análoga á las antes descritas, y el mineral triturado pasa, por efecto de una corriente de agua que se introduce en la quebrantadora para que no se caldee demasiado, por unos canalizos á unos cilindros tamizadores ó *trómeles*, que clasifican el mineral en trozos mayores y menores de 3 centímetros. La primera porción (que tiene un diámetro comprendido entre 3 y 4'5 centímetros), se desliza por otros canalizos hasta la mesa de *klaubage*.

La segunda porción, es decir, el menudo, es conducido, por la envolvente de plancha de hierro que tienen los trómeles, á un depósito de donde suele ser extraído por medio de una noria de cangilones para cargar con él las vagonetas que deben transportarle á los aparatos en que debe sufrir las operaciones ulteriores.

Las mesas de *klaubage* constan de un eje vertical que imprime un movimiento giratorio á un soporte que sostiene una placa anular de fundición de unos 3 metros de diámetro exterior, que constituye la superficie de trabajo de la mesa, y el espacio central vacío va cubierto por otra placa de fundición para que no caiga por él ningún trozo de mineral. La superficie anular tiene un reborde en la circunferência exterior para que el agua que llega con el mineral no incomode á los obreros. Por la parte inferior de la masa hay unos canalizos que recogen el agua que se va escurriendo y donde se recogen los polvos que son arrastrados por ella.

Los trómeles son cilíndricos ó cónicos, y para esta operación suelen medir 1 y 1'20 metros de diámetro en las bases y una longitud de 1'50 metros. Por la parte donde entra el mineral hay un cono de poca altura que no va comprendido en estas cifras.

El triturador ó quebrantadora funciona á 250 revoluciones por minuto y los trómeles á 15 revoluciones. Las mesas de *klaubage* giran mucho más lentamente, pues dan una revolución cada tres y medio minutos.

Ante la mesa de *klaubage* hay los obreros que, sin auxilio de ningún útil ó á lo más de un rascador (fig. 146), van repartiendo los minerales en las categorías requeridas que se introducen en cajas, con las que se llevan luego á unos depósitos definitivos ó provisionales ó á vagonetas que deben transportar dichas clases á los sitios adecuados. Generalmente, cada obrero recoge sólo una clase de mineral

y deja pasar todos los demás. El estéril queda hasta el final, donde un obrero de mucha práctica lo examina cuidadosamente para que no pase ninguna parte útil, pues que aquí ya se perdería definitivamente porque se carga directamente sobre vagonetas que lo llevan al montón de estéril.

Si se comparan ambos métodos de monda se observa que el trabajo á mano convendrá aplicarlo á las clases más ricas obtenidas en la monda preparatoria, y que el trabajo mecánico convendrá para las clases pobres, ó para las finamente aglomeradas, en que no es de temer que el triturador nos desmenuce excesivamente la parte útil. Por otra parte, el trabajo á mano es mucho más regular y exacto que el mecánico, lo que puede influir de un modo decisivo cuando las gangas presentes son de naturaleza más ó menos favorable.

III

TRATAMIENTO DEL MENUDO

Se ha dicho que el menudo obtenido cuando el cribado del mineral bruto era el que pasaba por la rejilla y que, por tanto, tenía un diámetro inferior á 6'5 centímetros. Su tratamiento se propone resultados análogos á los indicados para el grueso, pero aquí se suprimirá la trituración que se imponía en el grueso. Deberemos, por lo tanto, separar á mano

todas las especies minerales útiles y, además, todas las especies y gangas mezcladas que pudieran influir mutuamente en su separación respectiva. Es aquí también natural, como en el grueso, que este escogido se efectuará para los trozos mayores de 3 centímetros. Por consiguiente, antes de empezar este trabajo deberá someterse el menudo á un cribado para separar los trozos menores de dicha dimensión, que se tratarán á parte, como ya veremos más adelante. Este cribado raras veces se hace á mano, sino que se efectúa en aparatos movidos mecánicamente; y como que los trozos mayores suelen llevar adheridas partículas más ó menos finas, lo que ocasiona un muy difícil reconocimiento cuando se les quiere clasificar, y, por lo tanto, una clasificación defectuosa, se someten, al propio tiempo, á un lavado que suele llamarse *desenlodamiento*.

De manera que el tratamiento del menudo comprende: 1.° Desenlodamiento y apartado simultáneo en mediano y fino; 2.° Clasificación del mediano.

Cuando las partículas finas están adheridas al menudo en forma de polvo, basta un simple chorro de agua para separarlas. Pero si están fuertemente adheridas, se requieren aparatos especiales que al propio tiempo que el desenlodamiento nos separan el mediano del fino. Las disposiciones adoptadas son muy variadas, desde los sencillos canalizos y de las rejillas planas, fijas ó móviles, á las rejillas cilíndricas ó cónicas móviles, llamadas *trómeles de desenlodamiento*.

Los casi únicamente empleados hoy son los últimos y consisten (fig. 147) en un cilindro ó cono *a* en cuya parte anterior hay el cono *b* de entrada, ambos fijos á un eje *d*. El cilindro *a*, en una longitud de 75 centímetros, es de plancha de hierro con fuertes púas de hierro; y en lo restante es de plancha de hierro agujereada para que pasen trozos menores de 3 centímetros.

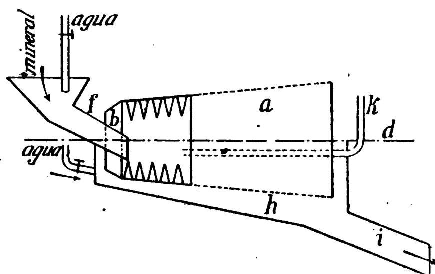


Fig. 147

En el cono *b* desemboca la tolva *f*, de introducción del mineral, que al propio tiempo sirve para la entrada del agua necesaria (100 litros por minuto).

En la mitad inferior del trómel, y abarcándolo, hay la envolvente *h*, de hierro (cuyo borde superior se eleva próximamente á la altura del eje), que lleva en uno de sus lados los tubos *k*, cuyos chorros de agua cooperan activamente al desenlodamiento del contenido del trómel, y hacia el extremo final del aparato la tolva de evacuación *i* muy inclinada.

La longitud total del aparato es de 1'95 metros, sin el cono de entrada, correspondiendo, por lo tanto, 1'21 metros á la superficie perforada. Sus diámetros interiores son 1'10 y 1'30 metros. Estas dimensiones se consideran como máximas para estos aparatos.

Por la rotación (15 vueltas por minuto), el mineral asciende varias veces por la pared interior y por la acción simultánea del agua es desenlodado. Al propio tiempo, la carga va avanzando hacia la parte perforada, en donde se van separando los trozos menores de tres centímetros, así como el agua de lavado y los lodos ó *schlams* en suspensión, siendo recogidos por la envolvente, desde donde son dirigidos á las otras operaciones de clasificación que ellos requieren. Los trozos mayores resbalan hasta la tolva de salida, de donde son conducidos á los aparatos convenientes para su clasificación, la cual no exige ninguna trituración, ó á lo más una trituración muy somera. El escogido se efectúa en mesas de construcción análoga á las descritas antes, y las operaciones son también completamente análogas y fundadas en los mismos principios. Los trozos de mineral mixto obtenidos aquí se someten á una nueva monda, separando con el martillo las gangas ó masas adheridas. Se necesitan operarios muy expertos, empleándose, por lo general, muchachas de catorce á diez y seis años, y el transporte de las cajas llenas de mineral escogido se confía á un obrero vigoroso.

Estas mesas de *klaubage* tienen también 3 metros de diámetro. El consumo de agua es de 50 litros por minuto y el de energía 0'25 H. P.

IV

TRITURACIÓN DE LOS MINERALES

El objeto de la serie de operaciones hasta aquí vistas, ha sido: primero, recoger en fragmentos más ó menos voluminosos las diferentes especies minerales útiles sin ninguna clase de trituración, ó, por lo menos, muy grosera; segundo, eliminar las masas estériles de ganga y roca, y tercero, someter las masas mixtas á un escogido, hasta límites racionales, para disponerlas para los trabajos ulteriores.

Pero alguno de estos productos mixtos están constituídos por especies minerales de tal modo diseminadas en la masa del mineral, que no es posible efectuar una separación satisfactoria sin que se proceda previamente á una trituración minuciosa. De todos modos, hay que considerar que esta trituración no se llevará más allá de lo que el estado de diseminación requiera, porque es una operación relativamente cara, y además las pérdidas de mineral son tanto más cuantiosas cuanto más fino es el triturado. Tanto es así, que en muchas ocasiones es más conveniente efectuarlas en varias veces con grados cada vez más finos, alternadas con operaciones de separación.

De los aparatos empleados para la trituración sólo indicaremos los tipos principales.

Cilindros

En estos aparatos la trituración se efectúa por dos cilindros de metal duro, horizontales, y de igual diámetro, que giran en sentido inverso, entre los cuales se introducen las masas que deben triturarse.

Su diámetro debe ser tanto mayor cuanto mayores son los fragmentos que deban triturarse y cuanto más fino deba ser el producto triturado. Y cuanto mayor sea más ventajas presentan, pues el desgaste es menor, el trabajo más regular, etc. Es práctico un diámetro de 95 centímetros. Para que el desgaste de los cilindros no nos imponga gastos de reparación crecidos, se construyen en dos piezas que son un núcleo de fundición de forma ligeramente cónica y una camisa de fundición endurecida ó de acero fundido, que se adapta exactamente sobre dicho núcleo.

Respecto á la longitud de los cilindros, suele adoptarse la de 36 centímetros, pues en mayores longitudes la repartición del mineral no es regular, y, por tanto, la usura de la camisa es mayor en unos puntos que en otros.

La velocidad de rotación debe regularse de modo que no quede nunca sin mineral, adoptándose, generalmente, la de 2 á 2'25 metros por segundo, ó sea de 40 á 50 vueltas por minuto.

Uno de los cilindros tiene un reborde para limitar lateralmente el espacio de trabajo. Los cojinetes de uno de los cilindros son fijos sobre el armazón de la máquina, y los del otro son móviles á lo largo de unas guías para poder aumentar ó disminuir la

separación de ambos cilindros. En estas guías hay, además, unos fuertes resortes para graduar la presión del cilindro móvil contra el fijo, de manera que si hubiese algún grano de mineral ú otra materia demasiado dura, el cilindro móvil retrocede y le deja libre paso. El cilindro móvil recibe el movimiento giratorio por frotamiento con el otro cilindro ó con los minerales que se trituran. En el mismo eje del cilindro fijo van montadas las poleas motrices y el volante, que pesa 2,000 kilos.

La introducción del mineral se efectúa por medio de una tolva y un plano inclinado, susceptible de recibir una serie de sacudimientos que ocasionan un avance regular del mineral.

Para extraer el mineral triturado de la máquina trituradora, debajo de los cilindros hay construído un canalizo cimentado en las mismas fundaciones de esta máquina.

El consumo de energía es de 15 H. P. y el de agua se eleva á unos 150 litros por minuto.

Bocartes

Un bocarte es un pilón que golpea regularmente un yunque de acero ó fundición. Consta esencialmente de una placa de fundición fija y de unas barras verticales que en su parte inferior llevan unas piezas, también de fundición ó acero, que van animadas de un movimiento alternativo ascendente y descendente. Este movimiento se obtiene por medio de unas ruedas excéntricas ó con resaltos que en su movimiento de rotación encuentran un tope, fijado en cada una de las barras ó flechas, que

es levantado, y, por tanto, también la flecha correspondiente, por la rueda; y cuando el diente de la rueda abandona el tope, la flecha cae por efecto de su propio peso, golpeando con más ó menos fuerza las substancias, colocadas en la placa, fuerza que depende del peso de la flecha y de la altura de que cae.

Para ir extrayendo del aparato los polvos obtenidos, se echa mano de una corriente de agua que, según se gradúe su velocidad, arrastra las partículas trituradas en un grado más ó menos avanzado de finura. Además, una tela metálica detiene las partículas que, por ser poco densas, son arrastradas cuando aun no han alcanzado el tamaño que se desea.

En cada bocarte suelen haber cuatro ó cinco flechas, y, por lo general, se colocan unos al lado de otros, constituyendo baterías. Además, como que si se levantaran todas las flechas á la vez habría cambios bruscos de resistencia para la máquina motriz, se regulariza el trabajo haciendo ascender las flechas de manera alternativa..

Modernamente, las flechas son de sección circular, y á cada movimiento de sube y baja sufren un pequeño ángulo de giro, para así regularizar el desgaste de las piezas metálicas que verifican la trituración.

El consumo de energía es de 0,5 H. P. por flecha, y el de agua 30 litros por flecha y minuto. El rendimiento viene á ser de unos 50 kilos por flecha y hora, variable, naturalmente, con el grado de trituración.

Molino de Schranz

La trituración con el molino de Schranz se produce de una manera análoga á la producida con los cilindros; pero en vez de haber dos cilindros de metal duro, horizontales, en este molino hay una solera cónica de 1'50 metros de diámetro de materia dura, susceptible de girar alrededor de un eje vertical; aplicadas con resortes contra su superficie van tres muelas cónicas que girarán, por lo tanto, por el movimiento que les imprimirá la rotación de la plataforma, determinándose así la trituración del mineral por aplastamiento sin resbalamiento alguno.

Las muelas constan de un armazón de fundición, descargado en lo posible, y de una camisa de trabajo, de acero fundido. La plataforma también tiene la superficie de trabajo solidada á un armazón de fundición. Alrededor de la plataforma y por debajo de ella hay un canalizo que nos recoge los polvos (ó, mejor dicho, lodos, porque se extraen por medio de una corriente de agua) obtenidos.

La plataforma da 12 vueltas por minuto. La carga se hace por una tolva y la correspondiente mesa de sacudimientos. La presión de las distintas muelas va aumentando desde la que primero tritura al mineral hasta la última, y el mineral que pudiera quedar adherido á ellas se despega por medio de chorros finos de agua; detrás de la tercera muela, la plataforma recibe un enérgico chorro de agua que la limpia de todo el mineral triturado, el cual cae al canalizo inferior.

Este molino es muy ventajoso para los calibres

inferiores á 10 milímetros; consume unos 3 1/2 H. P. y 100 litros de agua por minuto. Su cuidado se confía á un solo obrero, para la carga, limpieza y regulación del aparato.

Molino de Heberle

El molino de Heberle tritura el mineral entre dos discos de materia dura, verticales, que giran con movimiento contrario, lentamente uno y rápidamente el otro; de manera que la trituración se determina por frotamiento; según la cantidad de mineral que deba triturarse, se disponen una ó más moletas (discos de movimiento rápido) obrando por presión contra un disco de movimiento lento. Cuando hay cuatro moletas, se disponen dos discos.

Los molinos Heberle de una ó dos moletas, sólo se distinguen de los de cuatro moletas en el sistema de carga. Tanto los discos como las moletas están constituídas por un armazón de fundición y de superficies de trabajo de acero fundido. La superficie de trabajo de los discos lleva tres series concéntricas de ranuras radiales. Las series exteriores son de 1 centímetro de ancho y no atraviesan el disco; las de la serie central son de 4 centímetros de ancho y lo atraviesan; las primeras sirven para efectuar la trituración, y por las segundas llega el mineral que ha de ser triturado.

Las superficies de trabajo de las moletas llevan una serie de ranuras, no concéntricas sino formando espirales de Arquímedes, que, combinadas con las ranuras radiales de los discos, favorecen la trituración.

El diámetro de los discos es de dos metros y el de las moletas de unos 70 centímetros. Los primeros dan dos vueltas por minuto y las moletas 250.

La carga se efectúa por una tolva y caja de sacudimientos, con auxilio del agua. Para evitar la proyección del mineral y la deterioración de los cojinetes, las moletas van protegidas por una envolvente de plancha de hierro, pues el mineral triturado en virtud de la fuerza centrífuga tiende á alcanzar el borde de los discos; de aquí se recoge en canalizos que le conducen á los aparatos destinados á las operaciones ulteriores.

Este molino sirve únicamente para granallas de 10 á 2 milímetros de diámetro, pudiéndose regular convenientemente la distancia entre disco y moletas; y su rendimiento varía mucho según el grado de finura que se requiere. Viene á consumir 20 litros de agua por moleta y minuto y unos 5-6 H. P. también por moleta.

La placa de las moletas viene á durar $^{1}/_{3}$ de lo que dura la placa del disco, cuya duración suele ser de 3,000 horas.

El molino Heberle de una sola moleta difiere de los de más de una moleta, en que disco y moleta son del mismo diámetro y en que el disco gira exclusivamente por efecto del frotamiento con la moleta.

Molino de bolas

Consta de un cilindro de plancha de acero ó de fundición dura, cerrado por ambas bases y susceptible de girar alrededor de un eje horizontal. Las paredes forman unos resaltos para

que un número indeterminado de bolas de acero puedan, durante la rotación del cilindro, caer y golpear al mineral que se ha introducido por una puerta ó tolva que hay en una de las bases. De esta manera el mineral es triturado y reducido á partículas más ó menos finas, según sea el tamaño de las bolas (de 40 á 125 milímetros de diámetro) y el número de revoluciones que haya dado el aparato. Los polvos que han obtenido el tamaño deseado pasan á través de unos agujeros que lleva el cilindro en sus paredes y que hacen las veces de tamiz.

Todo el aparato va cubierto con una envolvente para que no se esparza polvo, y termina esta envolvente, por su parte inferior, en forma de tolva para dirigir lo triturado á los capazos ó sacos en que ha de recogerse.

Este aparato consume poca fuerza y su rendimiento varía según las dimensiones del cilindro y la clase de mineral. Un molino de 1'80 metros de diámetro por 1 metro de ancho, dando 27 revoluciones por minuto, con rejilla de 13 mallas por centímetro cuadrado y con un mineral semejante al tipo antes indicado, da unos 850 kilogramos de triturado por hora.

La trituración puede ser hecha con ó sin el auxilio del agua; en el primer caso, el rendimiento pasa de la cifra dicha, y en el segundo, no llega.

Desintegrador de Carr

Está formado por dos placas de fundición dura, cada una de las cuales lleva implantadas un número variable de barritas de acero

dispuestas en círculos concéntricos y de manera que al girar á gran velocidad las placas, en sentido contrario una de otra, por medio de dos árboles independientes, estas barras no se tocan entre sí, pero se cruzan. De esta manera, los minerales que se introducen cerca del centro son golpeados enérgicamente por estas barras hasta que logran escapar de ellas y caer en una tolva inferior, por donde salen al exterior. Con este aparato pueden pulverizarse unas 12 á 15 toneladas de carbón por hora.

Las placas suelen tener de 0'90 á 1'90 metros de diámetro, y dando de 200 á 300 revoluciones por minuto consumen de 10 á 12 caballos de fuerza.

Desintegrador de Vapart

Consiste en un eje vertical, que lleva montados varios platos horizontales, en cuya cara superior hay tres ó más nervios en sentido casi radial para que, al girar los platos á gran velocidad (de 400 á 1,000 vueltas por minuto), sean golpeados enérgicamente por los nervios los trozos de mineral que caigan sobre ellos. Al salir despedido el mineral, va á chocar contra la pared interior de la envolvente del aparato, la cual está acanalada de manera que recibe el choque del mineral, normalmente, á estas superficies.

Al caer el mineral después de este choque, encuentra unos planos inclinados que lo conducen al plato inmediatamente inferior, ó bien (después de haber pasado ya por el plato más bajo) á una tolva inferior que lo conduce fuera del aparato. El aparato suele construirse de 1 metro de diámetro y con-

sume unos 15 á 20 H. P. para triturar por hora unas 15 toneladas de pirita, previamente reducida á trozos de 6 ó 7 centímetros de diámetro.

Comparación entre los distintos trituradores

Las condiciones respectivas de cada uno de estos aparatos pueden condensarse en las siguientes líneas:

Las *quebrantadoras,* son muy propias para reemplazar la monda y para reducir los fragmentos hasta un límite inferior de 2 centímetros. Son aparatos de mucho rendimiento, dan pocas arenas y lodos, y consumen poca agua y poca energía.

Los *cilindros,* son propios para triturar minerales complejos más finamente que las quebrantadoras, ó sea en granallas y arenas, pudiéndose triturar hasta calibres menores de 12 milímetros. Son aparatos de mucha regularidad, dan pocas arenas y lodos, pero consumen mucha energía, aunque poca agua.

Los *bocartes,* consumen mucha agua y mucha energía. Sirven perfectamente para fino, pero se necesitan grandes tanques para retener el polvo, en suspensión en el agua.

El *molino de Schranz,* sirve para dar granallas finas y arenas, ó sea desde 10 milímetros como límite superior. Requiere más agua que los cilindros, y es de mayor producción que los bocartes.

Por fin, el *molino de Heberle,* necesita más fuerza que el de Schranz, pero consume menos agua; y en lo demás es de condiciones muy análogas á las del dicho molino de Schranz.

V

TRATAMIENTO DE LOS MIXTOS TRITURADOS

Generalidades

Como ya se desprende de lo dicho anteriormente, sólo se trata aquí de minerales complejos triturados en fragmentos menores de 3 centímetros, procedentes ya de la monda á mano ó mecánica, ya del menudo que ha atravesado el trómel al desenlodar, ya de la trituración, efectuado en los aparatos que acabamos de describir.

El tratamiento de todos estos minerales reposa, salvo raras excepciones, en la diferencia de sus pesos específicos, siendo la separación tanto más perfecta cuanto mayor es esta diferencia en los cuerpos que deban separarse; aunque esta separación no puede ser nunca perfecta porque gran número de los fragmentos pueden contener mineral de varias de las especies á separar, como luego se demostrará.

Á continuación disponemos un cuadro de minerales con sus correspondientes densidades. Las indicaciones contenidas en las columnas segunda y ter-

cera no nos serán útiles de momento, pero sí más adelante:

MINERALES	Densidad	Si se toma el cuarzo como 100 los granos equivalentes tendrán por	
		Volumen	Diámetro
Cuarzo	2'65	100	100
Grauvaca	2'70	91'41	97'09
Calcita	2'71	89'85	96'52
Pizarra arcillosa. . .	2'82	74'51	90'66
Calamina	3'50	28'75	66'01
Siderosa	3'70	22'82	61'12
Malaquita	3'80	20'46	58'93
Limonita.	4	16'64	55
Blenda	4'05	15'83	54'11
Calcopirita	4'20	13'71	51'57
Pirolusita	4'50	10'48	47'15
Smithsonita.	4'50	10'48	47'15
Baritina	4'54	10'13	46'62
Pirrotina.	4'60	9'63	45'83
Oligisto	4'80	8'19	43'42
Pirita de hierro . . .	4'90	7'57	42'30
Cobre gris	4'95	7'29	41'77
Cobre abigarrado . .	5	7'02	41'25
Magnetita	5'10	6'52	40'20
Calcosina.	5'70	4'33	35'11
Plata roja	5'70	4'33	35'11
Cerusita	6'50	2'70	33'33
Piromorfita.	7	2'08	27'50
Galena	7'50	1'63	25'39

El tratamiento de los mixtos triturados podrá efectuarse, pues, con el auxilio del agua, y queda reducido á una simple decantación obtenida por la resultante entre dos fuerzas ó sea la aceleración que la gravedad imprime á los cuerpos que caen y la reacción que ejerce el medio en que cae, reacción que aumenta con la velocidad. De aquí que sean dos las acciones que intervienen: una acción de *masa* y una acción de *superficie*, y por el predominio de una ú otra influirán en que el cuerpo caiga,

con mayor ó menor rapidez, en el seno del medio en que se mueve.

Si suponemos, para facilitar la comprensión de esta teoría, que todos los granos presentan igual forma, la superficie del cuerpo será función del volumen y podremos representarla por una de las dimensiones de este volumen, dimensión que puede ser sencillamente el diámetro l, si admitimos que todos los granos son de forma esférica. La masa nos viene dada por el peso dividido por la gravedad

$$M = \frac{P}{g}$$

y como que el peso es igual al volumen multiplicado por la densidad, la masa será:

$$\frac{\frac{4}{3}\pi\, l^3 d}{g}.$$

De manera que en la decantación, admitida la hipótesis de igual forma de todas las partículas, sólo entran dos variables l y d, y si suponemos que el medio en que se mueven los granos ó partículas que caen es el agua, por consideraciones mecánicas llegaríamos á establecer que la velocidad [1] que

(1) Esta velocidad, según Rittinger, se puede considerar alcanzada después del tiempo siguiente:

Si l = 0'016 metros al cabo de 1 segundo
= 0'004 » » $\frac{1}{2}$ »
= 0'001 » » $\frac{1}{4}$ »

Nota. — Para la ordenación y redacción de este capítulo nos ha sido de gran utilidad el *Traité pratique de la préparation des minerais,* de dicho autor.

adquiere el grano de mineral en su caída crece progresivamente hasta alcanzar una velocidad constante ó uniforme como límite máximo, velocidad que depende del tamaño y de la densidad media y varia de unos á otros materiales como la raíz cuadrada del producto del diámetro por la densidad en el seno del agua

$$\sqrt{l\,(d-1)}.$$

Este valor se considera como la *función característica* que regulará la caída de cada grano.

Dependiendo la decantación de los valores l y d, natural es que serán dos los procedimientos que podremos seguir para clasificar los minerales triturados:

1.° Someter los minerales complejos triturados á una clasificación por volumen, esto es, según l; y luego clasificar las diferentes clases obtenidas en que todos los fragmentos serán del mismo volumen, á una clasificación según el peso específico, ó sea según d.

2.° Clasificar los minerales complejos triturados de un modo aproximado, según su peso específico (según su equivalencia); y luego proceder á la clasificación, por volumen, de cada una de las clases equivalentes que se habían obtenido.

El primer método se aplica, generalmente, si los productos que deben tratarse están en fragmentos relativamente voluminosos (granallas entre 3 centímetros y 1'5 milímetros), y el segundo, cuando se trata de arenas ó de lodos (fragmentos inferiores á 1'5 milímetros).

A) — CONCENTRACIÓN DEL MINERAL QUE HA SIDO TRITURADO EN GRANZAS

Por lo dicho, emplearemos el primero de los dos procedimientos indicados, ó sea, efectuaremos un tamizado previo para separar en clases los granos de volúmenes distintos, y luego trataremos separadamente cada una de estas clases según su densidad.

Clasificación por volumen

Esta clasificación se hace en cribas y con el auxilio del agua.

La criba, generalmente, es de plancha de hierro con agujeros circulares, y en algunas ocasiones de tela metálica, pero ésta no presenta la duración de aquéllas, y, además, las telas verifican una clasificación más irregular por las variaciones que sufren las dimensiones de los orificios.

Los orificios pueden adoptarse de muy variados diámetros, dependiendo éstos, principalmente, de la diferencia del peso específico. Generalmente, se dispone de una serie de cribas en que los diámetros de los orificios de cada una están, aproximadamente, en progresión geométrica, cuya razón es la relación entre las densidades, en el seno del agua, de los cuerpos que se tratan

$$\frac{d - 1}{d' - 1}.$$

Si hay gran diferencia entre *d* y *d'*, la razón de la progresión será relativamente grande con respecto á la unidad, y, por lo tanto, con un pequeño número de cribas lograremos una clasificación conveniente; pero si estas densidades son casi iguales, entonces la razón se diferenciará poco de la unidad y se necesitarán un gran número de cribas, número que en la práctica se reduce considerablemente porque no sería de aplicación económica.

Por lo general, los diámetros de una criba son una vez y media los diámetros de los orificios de la criba anterior; y de entre ellas se escogen las más apropiadas, según los casos. Esta serie de orificios viene determinada por los diámetros

1'5, 2, 3, 5, 8, 13, 20, 30 milímetros

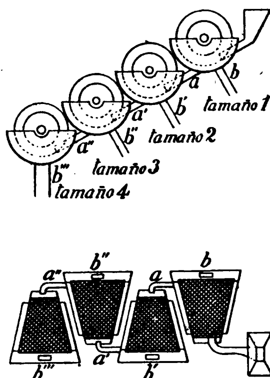
y el espesor de la plancha suele ser de la mitad del diámetro de los agujeros.

La clasificación por volumen se verifica sobre cribas planas, cilíndricas ó cónicas (trómeles), dotadas de movimiento ó no. Hoy, las cribas planas están casi abandonadas, empleándose de preferencia los trómeles y la criba Schmitt.

Cribas de trepidación. — Estas cribas pueden ser de *un solo fondo ó tamiz*, de *varios fondos ó tamices superpuestos*, ó de *fondos escalonados*. Actualmente no se usan estos aparatos, pues sus resultados son poco satisfactorios. Estas cribas están constituídas por un cajón inclinado, con el fondo de tela metálica, plancha perforada ó rejilla de barras de hierro, al que se le comunica un movimiento de

trepidación suave. Introducido el mineral por la parte alta del cajón, desciende á lo largo del fondo y se divide en dos clases, si hay un solo fondo ó tamiz, ó en varias, según el número de los que existan.

Trómeles. — Los trómeles clasificadores son casi siempre cónicos, de eje horizontal; casi nunca son cilíndricos, porque entonces para determinar el avance del mineral de uno á otro extremo, deben disponerse los ejes inclinados. Por lo general, se usan en batería, y mejor *en cascada,* ya *lateral,* ya *longitudinal* (figuras 148 y 149), y en número tal cuantas sean las clases que se quieran obtener. De este modo, el mineral que atraviesa cada trómel pasa al trómel siguiente y de éste al siguiente, etc., recogiéndose en el extremo de cada uno de ellos el mineral que no lo ha atravesado, es decir, una clase de volúmen comprendido entre el determinado por el orificio del trómel anterior, como límite superior, y el del trómel actual como límite inferior. De manera que se tiene una clasificación de mayor á menor.



Figs. 148 y 149

Ya ex profeso hemos hecho la descripción tal como queda indicado, por cuanto la otra manera de los trómeles, es decir, haciendo una clasificación de menor á mayor, ó sea entrando en cada trómel el mineral rechazado por los trómeles anteriores,

ya está casi abandonada, por el gran deterioro sufrido por los aparatos.

En ambos sistemas, para economizar la altura que se requiere para cada cascada, se disponen á veces, trómeles dobles, ó sea trómeles con dos cribas, pero casi no se usan por los inconvenientes que presentan.

Las cascadas laterales exigen menos sitio que las longitudinales; en cambio, éstas requieren menos altura y permiten una instalación más práctica para los aparatos subsiguientes.

Si no hay bastante con una serie de cuatro, se puede colocar otra serie de tres ó cuatro á continuación, con un aparato elevador intermedio para llevar hasta el primer trómel de la segunda serie los productos que han atravesado el último trómel de la primera serie.

El consumo de energía de siete trómeles clasificadores viene á ser de 3 $^1/_2$ H. P.; el de agua (que obra lateralmente por medio de tubos convenientemente dispuestos, como ya se indicó al tratar de los trómeles desenlodadores), es de 280 litros por minuto, siendo de observar que los trómeles finos consumen más agua que los de orificio grande. Funcionan á 15 vueltas por minuto.

Se emplean también bastante, por las ventajas que presentan, las llamadas cribas Schmitt, ó cribas espirales.

Su principal ventaja estriba en el poco espacio ocupado y por la poca altura que requieren; en determinadas operaciones, de todos modos, presen-

tan también sus inconvenientes, en especial, porque son aparatos de construcción relativamente complicada, lo que da lugar á reparaciones onerosas.

Clasificación por densidad

Los fragmentos ó granos que pertenecen á una clase obtenida por volumen, tienen pesos distintos según sea la densidad de los minerales por que están constituídos. Por lo tanto, si después de efectuar el anterior cribado, procedemos á una clasificación por densidad, separaremos en cada una de las clases obtenidas otras tantas clases cuantas sean las especies minerales que estén mezcladas.

Pero como que en el producto que vamos á tratar hay fragmentos que están constituídos por dos ó más especies á la vez, alguno de los productos obtenidos tendrán densidades promedias entre las densidades de cada dos especies minerales de densidad consecutiva, es decir se obtendrían todavía productos mixtos.

Esta clasificación se efectúa aprovechándonos de las distintas velocidades con que llegan al fondo de una masa de agua las partículas del mineral.

Los aparatos en que se efectúan estas operaciones reciben el nombre de cribas ó *bacs,* habiéndolas de trabajo intermitente y de trabajo continuo. Las primeras son ya de escasa aplicación.

Una criba intermitente consiste en una caja separada en dos compartimientos que comunican inferiormente entre sí; en uno de los compartimien-

mientos y á unos 25 ó 30 centímetros del borde superior hay una rejilla sobre la que se coloca el mineral, y en el otro ajusta un émbolo que puede recibir un movimiento ascendente y descendente.

La rejilla va sostenida por medio de un marco que lleva varios travesaños de sección triangular con una de las aristas tocando á la rejilla para que, sin obturar más que una pequeña parte de su superficie, no se deforme con el peso del mineral.

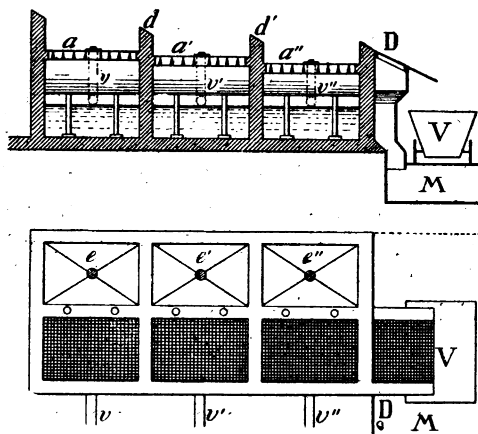
Lleno el *bac* de agua hasta pocos centímetros por encima de la rejilla, al descender el émbolo ascenderá el agua en el otro compartimiento, atravesando la rejilla y arrastrando en su movimiento las partículas menos densas. Y al volver el émbolo á su posición normal, retrocederá el agua otra vez hasta quedar su superficie más baja que la rejilla, arrastrando consigo al mineral, el cual caerá con tanta mayor rapidez cuanto mayor sea su densidad; quedará así nuevamente depositado sobre la rejilla, pero algo más clasificado por orden de densidades.

Repetido, pues, este trabajo un número suficiente de veces, quedará el mineral distribuído en capas de igual densidad, creciente de abajo arriba; las cuales son retiradas por un operario con una pala de mano, á cuyo objeto suspende el movimiento del émbolo. No se quita toda la carga cada vez, sino que se deja constantemente la capa inferior de partículas más densas para preservar la rejilla, capa que no se extrae hasta que tiene un espesor de unos 3 á 5 centímetros.

El émbolo da unos 50 movimientos por minuto, y á veces hasta el doble cuando se trata de mate-

rías finas. La carga debe alcanzar una altura de unos 10 á 18 centímetros, según el tamaño de las granallas.

El consumo de energía viene á representar $^1/_4$ á $^1/_2$ H. P. El consumo de agua es insignificante



Figs. 150 y 151

porque á cada operación sólo se extrae del aparato, por una válvula inferior, la cantidad precisa para que emerjan las capas de mineral; por ejemplo, unos 100 litros de agua en cada operación. El rendimiento viene á ser de una tonelada por hora.

La disposición de un *bac* continuo viene indicada en las figs. 150 y 151, por las que vemos que el mineral levantado por el agua en su movimiento ascendente pasa por encima del vertedero *d* á la rejilla de un segundo *bac*, desde el cual, á su vez, las partículas más finas, arrastradas al ascender,

pasan á un tercer *bac;* y así sucesivamente, según las clases que deban obtenerse. De manera que en cada *bac* obtendremos una clase ó especie mineral. Del último *bac* sale únicamente el estéril, que ha sido sucesivamente desechado por todos los *bacs,* y que, como se ha dicho en otro lugar, suele ser la parte de la mezcla que presenta menor peso específico.

Las figuras dichas representan no sólo el alzado, sino también la planta de una criba de tres rejillas *a, a', a'',* servidas separadamente por los tres émbolos *e, e', e'',* que al verificar su movimiento descendente levantan el agua por sobre la rejilla, pasando una parte de ella, con el mineral que ha arrastrado, á la rejilla siguiente por los vertederos *d* y *d'*.

El último vertedero *D* está agujereado, en parte, formando una rejilla por la que pasa el agua y lodos en suspensión, que se dejan reposar en el depósito *M*, y así el estéril se va acumulando en la vagoneta *V*, ya escurrido. El mineral que queda encima de cada rejilla se extrae de cuando en cuando por las válvulas *v, v', v''*.

El recorrido de los émbolos influye bastante en esta operación. He aquí los caminos que aconseja Linkenbach, según sus experiencias:

Para	granos de	30 á 20	milímetros	carrera de	75	milímetros
»	»	20 á 13	»	»	60	»
»	»	13 á 8	»	»	50	»
»	»	8 á 5	»	»	42	»
»	»	5 á 3	»	»	35	»
»	»	3 á 2	»	»	25	»
»	»	2 á 1'5	»	»	15	»

El consumo de agua es mayor en los *bacs* de granzas gruesas que en los de finas, considerándose comprendido entre 120 y 180 litros para un *bac* de tres rejillas. El consumo de energía también es menor para las granallas finas.

Los productos mixtos obtenidos en estos aparatos son triturados y sometidos á nuevo cribado. Pero lo más corriente es someterlos á un *klaubage* ó estrío, y luego las clases que lo requieran se someten á la trituración y subsiguiente separación por volumen y densidad.

B)—CONCENTRACIÓN DEL MINERAL CUANDO HA SIDO TRITURADO EN ARENAS

Ya se ha dicho que se aplica en esta operación el segundo procedimiento de clasificación; es decir, que procederemos, primero, á clasificar según d, y luego según l. Según esto, se comprende que los cuerpos á la vez densos y voluminosos, caerán en el seno del agua más rápidamente que los que sean pequeños y ligeros, y que habrá una clase de cuerpos que siendo los unos voluminosos y poco densos, y los otros pequeños y muy densos, en que compensándose los valores l y d, caerán con igual velocidad. Á estos granos que presentan igual valor de la *función característica,* es decir, que caen conservándose siempre al mismo nivel y que llegarán, por lo tanto, juntos al fondo, se les ha dado el nombre de granos *equivalentes*.

Las partículas equivalentes de igual densidad

tienen siempre diámetros diferentes; y si admitimos que estas partículas tienen forma esférica, los diámetros de dichas partículas equivalentes estarán, aproximadamente, en razón inversa de las densidades disminuídas en una unidad; y sus volúmenes en razón inversa del cubo de dichas densidades disminuídas en la unidad.

La tabla de la página 379, en sus dos últimas columnas, nos da los volúmenes y diámetros de las partículas equivalentes de las especies minerales allí indicadas.

Clasificación por densidad y separación de los lodos

Debido á la propiedad de equivalencia, al dejar caer una cantidad de arenas á granel en el seno del agua, llegarán al fondo en distinto tiempo, y cuando ya estén todas aposadas, si se retiran por capas horizontales, tendremos una serie de clases equivalentes.

Los métodos más usados para la clasificación, por equivalencia, de las partículas inferiores á 1'5 milímetros (arenas y lodos) son dos; en el primero, se someten las partículas á la acción de una corriente horizontal; en el segundo, se abandonan las partículas minerales en una corriente de agua horizontal, de velocidad decreciente, con lo que las partículas más densas tenderán á depositarse antes que las menos densas; pero mientras las clases así diferenciadas están todavía en suspensión en el agua, se les aplica una corriente vertical ascendente, y graduable, de agua.

Para la corriente horizontal, se utiliza el agua turbia que contiene ya partículas minerales de igual naturaleza procedente de las operaciones anteriores.

Aparatos empleados en la clasificación de las arenas

Los aparatos empleados son muy numerosos, siendo casi imposible describirlos en sus muchas formas. Describiremos aquí varios de ellos, observando de paso que algunos son ya de escasa aplicación.

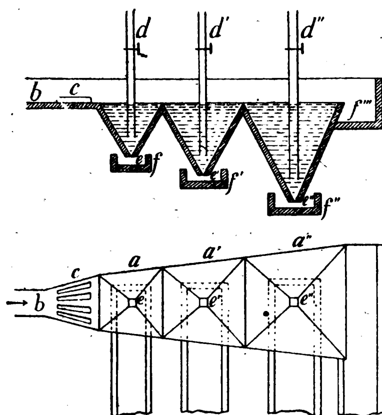
Laberintos.—Casi ya no se emplean, y consisten en canales de madera de unos 25 centímetros de ancho, cuyo fondo presenta inclinación muy ligeramente contraria á la dirección de la corriente de aguas turbias.

En el fondo del canalizo se disponen, á veces, tabiques de poca altura para facilitar la retención de las arenas aposadas, ó bien rendijas transversales que dejan caer los cuerpos que ya se arrastran por el fondo á depósitos inferiores. En ellos se recogen las arenas que se irán acumulando en el fondo del canalizo convenientemente clasificadas.

Cajas piramidales ó spitzkastens. — Con estos aparatos, inventados por Rittinger, se consigue una clasificación en mejores condiciones que en los laberintos. Están constituídos por varias cajas de madera de forma piramidal invertida, por lo general, en número de cuatro.

Las materias en suspensión en el agua llegan á la primera caja por un canalizo; una parte se deposita en ella, y la otra más ligera es arrastrada á la siguiente (de dimensiones mayores), en donde también se deposita otra parte de la substancia que arrastra el agua, y así sucesivamente.

El mineral que se deposita en cada caja tiene su salida constante por aberturas inferiores *e*, pasando, siempre en suspensión en el agua, á los aparatos sucesivos.



Figs. 152 y 153

La materia debe entrar en la primera caja con bastante agua, y casi sin velocidad, con el objeto de que los granos puedan moveres independientemente de la corriente del agua y se verifique la clasificación en mejores condiciones.

Las cajas piramidales con corriente de agua ascendente, se ven representadas esquemáticamente en las figs. 152 y 153, en que *a*, *a*', *a*'' son los *spitzkasten; b*, el canalizo de llegada de las aguas turbias que se distribuyen en todo lo ancho de la primera caja por medio del distribuidor *c; d*, *d*', *d*'' son los tubos para la corriente ascendente del agua pura; *e*, *e*', *e*'', los orificios de salida de los lodos clasifica-

dos que, por los canalizos *f,' f', f''*, van á los aparatos sucesivos.

Cuando por la cantidad de lodos á tratar, no hay suficiente con una serie de cajas de las dimensiones usuales, se disponen dos series, uniéndose los productos salidos de cada dos cajas contiguas.

Otras veces, la corriente de agua ascendente se obtiene por una rendija abierta en el fondo del *spitzkasten*.

También, en ocasiones, el orificio de salida de los lodos se construye con enchufes metálicos para graduar fácilmente la intensidad de la corriente de agua ascendente.

El ángulo de inclinación de las paredes de la caja piramidal no debe ser inferior á 50°; ya que paredes menos inclinadas implicarían el aposamiento de los polvos en ellas, y hasta la obstrucción de los orificios inferiores de salida de los lodos.

Clasificación según el volumen de las arenas equivalentes ya clasificadas por densidad

Antes ya se ha visto que en la clasificación por densidad, las partículas de peso absoluto próximamente igual, se reunían en una misma clase que, por lo tanto, contenía las partículas más densas al estado de granos finos, y las partículas menos densas al estado de granos gruesos.

Resulta de ello que para clasificar las partículas equivalentes ya ordenadas por densidad, debería procederse á un cribado, en cuya operación los granos finos darían el mineral puro y los más grue-

sos el estéril; pero para partículas de la tenuidad de que se trata aquí, no es posible acudir á este medio, y, generalmente, suele emplearse uno de los dos métodos siguientes:

1.° Someter la mezcla de partículas equivalentes á la acción de una corriente de agua alternativamente ascendente y descendente en una pequeña altura.

2.° Someter la mezcla de partículas equivalentes á la acción de una tenue capa de agua que se desliza por una superficie ligeramente inclinada.

Aparatos para la clasificación de las arenas equivalentes ya ordenadas por densidad

Por lo dicho, se comprende que los aparatos adecuados para esta clasificación son los *bacs* y las mesas.

El *bac* continuo para arenas ó granallas muy finas, es muy semejante al ya indicado y consta de una caja, separada por unos tabiques en cuatro partes iguales, cada una de las cuales constituye por sí un *bac* simple formado por dos compartimientos, que contienen el uno una rejilla fija y el otro un émbolo que puede efectuar un movimiento de vaivén vertical. Las rejillas son de tela metálica de alambre de latón, cuyas mallas varían entre o'5 y 2 milímetros, según las clases que se deban tratar en ellas, y van sujetas en unos marcos de madera que, con objeto de mejor sostener la rejilla, tienen varios travesaños de sección triangular para obturar la menor superficie útil posible.

Sobre cada rejilla se coloca una capa de granallas de grano mayor que el de la malla.

Las cuatro rejillas están situadas á diferentes alturas y comunican entre sí por unos vertederos. El agua, por un canalizo de distribución, llega al aparato por el *bac* en que la rejilla está más elevada, y al final hay un pequeño *spitzkasten* en el cual entra una corriente vertical de agua á presión, y cuyo objeto es acabar de recoger los pocos lodos que pudieron escapar. Los productos de las varias rejillas filtran á través de la capa de granallas y caen en la parte inferior de las cajas correspondientes, de donde, por medio de válvulas, pueden evacuarse de cuando en cuando á los depósitos de reposo.

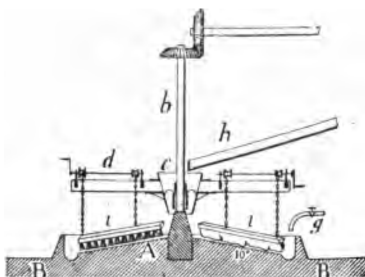
Mesa de sacudimientos

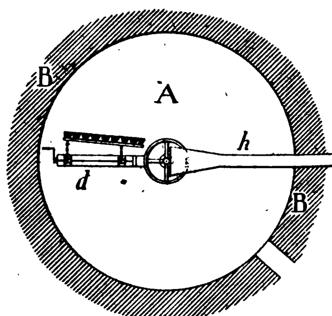
Las mesas pueden ser de dos clases: la *mesa de sacudimientos* y la *mesa cónica fija*.

La mesa de sacudimientos no es más que un plano ligeramente inclinado, con rebordes para que no se derramen lateralmente los productos en ella colocados.

En uno de los extremos hay el canalizo de llegada de los lodos ó arenas, terminado con el correspondiente distribuidor para que se desparramen por todo el ancho de la mesa, lo cual, á consecuencia de la inclinación de la mesa y de ciertos sacudimientos ó trepidaciones á que ésta se encuentra sometida por la acción de un mecanismo especial, van deslizándose hacia el otro extremo.

El mineral más pobre sale por este extremo juntamente con el agua, yendo á los canales ó cajas correspondientes, y el de cierta riqueza, que queda en la mesa, se descarga por zonas, cuando después de cierto tiempo de marcha, la capa aposada ha llegado á un espesor de 10 á 20 centímetros. Si los minerales no vienen con la cantidad de agua suficiente, en la cabeza de la mesa se coloca un recipiente ó caja para añadir y mezclar la que falta para dar á los lodos el grado de dilución necesario.





Figs. 154 y 155

Mesa cónica fija

Las figs. 154 y 155 representan este aparato, que está formado por una mesa cónica de madera ó de mampostería *A*, revestida de cemento, contenida en una cavidad cilíndrica *B* de 3'5 á 6 metros de diámetro, abierta en el suelo del taller. La inclinación de la superficie cónica suele ser de 10°. La materia que en suspensión en el agua llega por *h*, cae en el distribuidor *c* que se mueve junto con el eje *b* que lo reparte uniformemente por toda la mesa.

El movimiento del eje *b*, al que van unidos los brazos *d* que llevan los cepillos, escobas ó lonas *i*, produce un rozamiento de estos cepillos con la masa que hay encima de la mesa, poniendo los lodos en suspensión é impiden la formación de surcos, igualando la superficie, que ocasionarían una marcha defectuosa de la operación.

En estos aparatos el trabajo se ejecuta por acumulación, y según el depósito va aumentando de espesor así van levantándose las lonas ó cepillos y una vez se ha conseguido un depósito de suficiente grueso se detiene la marcha de las escobillas y la entrada de materias, y se trazan varias circunferencias concéntricas que dividirán la substancia en zonas clasificadas, que se retiran por medio de una pala. Estas clases, según su riqueza, se repasan en el mismo aparato, desechando las más pobres y retirando, desde luego, las que hayan obtenido el grado de concentración necesaria.

Las aguas de lavado, después de recorrer el contorno de la cavidad cilíndrica, salen por uno de los lados como se indica en la proyección horizontal (fig. 155), lo mismo que la sobrante de la que se ha empleado para poner en suspensión la materia, y que, llegando por *g*, arrastra el lodo que queda en la parte más baja del aparato.

Las mesas cónicas fijas también pueden ser cóncavas, en cuyo caso la entrada del mineral se hace por la periferia.

VII

CLASIFICACIÓN DE LOS LODOS POR SU DENSIDAD Ó EQUIVALENCIA

Esta clasificación se hace por la sola acción de una corriente horizontal de agua, y los aparatos son también *spitzkastens* de grandes dimensiones, por los cuales los líquidos circulan con pequeñísima velocidad.

Las dimensiones de estas cajas hacen que ocupen gran espacio y que sean de costosa instalación; así es que se considera más conveniente dividir la corriente de lodos, dirigiéndola á varias series de cajas que trabajan acumulando los productos salidos de las cajas igualmente distanciadas de la entrada de lodos.

Para evitar la diferencia excesiva de niveles entre los aparatos de llegada de lodos y los de la recepción de los lodos ya clasificados, cada *spitzkasten* va provisto de un sifón para hacer esta diferencia lo más pequeña posible.

Los polvos en suspensión en el agua, que escapan á esta clasificación, se dirigen á los depósitos de reposo para su aposamiento y consiguiente aprovechamiento.

Clasificación de los lodos equivalentes

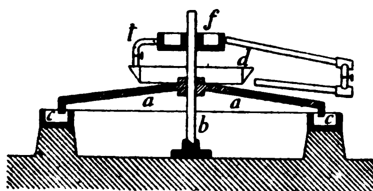
Ya hemos dicho que el método más usado y conveniente para clasificar los lodos equivalentes, consiste en some-

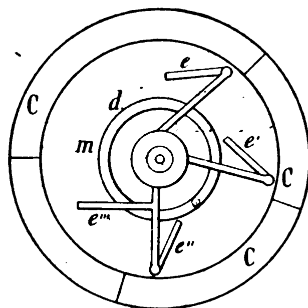
terlos sobre una superficie ligeramente inclinada á la acción de una corriente de agua de poco espesor. Los aparatos más empleados hoy son las mesas, de las cuales reinan casi exclusivamente la mesa circulár giratoria para lodos, la mesa Linkenbach, fija para lodos, y la mesa de sacudimientos Rittinger.

Mesas cónicas giratorias

Lo mismo que las mesas cónicas fijas, pueden ser convexas y cóncavas.

Constan (figs. 156 y 157) de una plataforma *a* de hierro fundido, unida solidariamente al eje *b*. El agua con lodos llega por *t* á una parte del canalizo *d*, que los reparte sobre $^1/_8$ de la mesa. El agua de lavado viene de la caja *f* que la conduce á lo restante del canalizo *d* y á los tubos, *e, e', e'', e'''*. El agua que sale en delgada lámina por la parte inferior del canalizo *d* opera el lavado, y la de los tubos, *e, e', e'', e'''* (que tienen multitud de agujeros que pueden orientarse según convenga), remueve la superficie del depósito y va separando





Figs. 156 y 157

los diferentes productos que se recogen clasificados en los diversos compartimientos de un canal circular *c* de donde salen por unos tubos que no se representan en la figura.

Puesta en movimiento la mesa, llega el lodo convenientemente diluído al punto *m*, y, siguiendo las generatrices del cono, van depositándose más ó menos lejos las materias según su densidad, al mismo tiempo que por seguir el movimiento de rotación de la mesa, se presentan sucesivamente bajo la acción de los tubos lavadores, que los lavan y obligan á resbalar por la superficie del cono hasta caer en sus respectivos compartimientos.

En las mesas cóncavas, se recibe la materia en un punto de la circunferencia, saliendo por el centro los productos clasificados.

Mesa de Linkenbach

Este aparato (fig. 158), que va substituyendo á las mesas giratorias, consiste en una mesa cónica fija sobre la cual gira una disposición de entrada de lodos y de aguas de lavado, semejante á la descrita para las mesas giratorias. De esta manera, no se forman surcos por el ligero movimiento perturbador ocasionado por la movilización rotatoria de una masa de tan gran diámetro.

La superficie de la mesa suele ser de hormigón bien cementado y pulimentado, y alrededor hay un canalizo dividido en compartimientos para recoger las diversas clases de productos que suministra el aparato.

Un eje vertical hace girar la parte móvil del aparato que consiste en un distribuidor de lodos, que los extiende en delgada lámina sobre la superficie de la mesa y que pasan luego á un canalizo colector que se mueve sobre unos rodillos y que está dividido en 24 compartimientos iguales, cada uno con su tubo de salida, que lleva los productos á otros canalizos inferiores donde se recogen las materias.

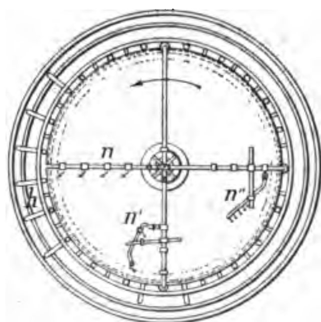


Fig. 158

Hay también cuatro brazos tubulares en comunicación con el tubo que nos trae el agua de lavado, que es distribuída por unos tubos perforados. El movimiento del eje y del canalizo colector es solidario uno de otro, de manera que sus rotaciones relativas son siempre iguales.

Las distribuciones de los lodos se efectúan sobre $^2/_8$ de la superficie; la separación del primer mixto, en los $^3/_8$; la 2.ª clase definitiva, en $^1/_8$; el 2.º mixto, en $^1/_8$, y la 1.ª clase definitiva, en $^1/_8$. Según convenga, puede variarse esta repartición modificando las divisiones del distribuidor.

Mesa de Rittinger

La mesa de Rittinger es una mesa de sacudimientos ó trepidaciones. El principio en que se funda su funcionamiento consiste en separar

el efecto de la trepidación del producido por la inclinación de la mesa, lo cual se logra verificando sacudimientos transversales en substitución de los longitudinales que hemos visto se daban en las mesas de sacudimientos antes descritas; de esta manera, en vez de ser ambos efectos de igual dirección, se efectúan en dirección normal uno á otro, dando una resultante en diagonal más ó menos pronunciada, según las intensidades respectivas de dichos movimientos.

El agua lodosa llega por uno de los ángulos superiores de la mesa y á causa del movimiento de la mesa, los lodos siguen trayectorias parabólicas y son recogidos ya clasificados en los compartimientos de una caja colocada en el extremo inferior del aparato.

Las dimensiones de estas mesas es de 2'50 á 3 metros de longitud, por 1'5 á 1'70 metros de ancho, con una inclinación de 3 á 6 grados. Consumen de 10 á 12 litros de agua por minuto, según la tenuidad de los lodos, y su rendimiento viene á ser de 3 á 6 toneladas por cada diez horas de trabajo.

VIII

CONCENTRACIÓN DE LAS ESPECIES MINERALES DE IGUAL DENSIDAD

Generalidades

No existen métodos generales para efectuar el tratamiento de estas materias, y sólo aprovechando determinadas propiedades de las especies á separar, se emplean algunos procedimientos especiales, poco numerosos y de uso sumamente limitado; casi podríamos reducirlos á los métodos por tostación, decrepitación, fusión ó destilación, á la tensión superficial en el aceite, á los fundados en la diferente dureza de las especies minerales y á los que reposan en sus propiedades magnéticas.

La separación, fundada en la distinta dureza de los minerales, puede llevarse á cabo por medio de una trituración conveniente que desmenuzará mucho las especies poco duras, y nos dejará en granos gruesos las más duras; pero las dificultades que presenta lograr una separación práctica hace que sólo en contados casos se aplique este método.

Mucho más aplicados son los métodos fundados en las propiedades eléctricas y magnéticas de los minerales, y de ellos vamos á hacer una pequeña descripción que nos dé idea de lo mucho que en estos últimos años se ha progresado en este punto.

Concentradores electromagnéticos

El principio fundamental de los aparatos electromagnéticos para separar minerales muy magnéticos de los que no lo son tanto, ó bien para separar éstos de los que no lo son en absoluto, es común á todos ellos; y consiste en someter los minerales, previamente triturados y clasificados por volumen, á la acción de un campo magnético de intensidad apropiada.

Las partículas del mineral llegan al campo magnético con una cierta velocidad, y se encuentran, por lo tanto, sometidas á dos fuerzas: una, la correspondiente á la velocidad de que están animadas, y otra, la atracción magnética ejercida por dicho campo, atracción que será distinta según la especie mineralógica sobre que actúe, pues su intensidad es proporcional al cuadrado de la inducción magnética *en el interior* de la partícula, y es, por lo tanto, función de la permeabilidad magnética de la especie mineralógica.

Considerando, ahora, las condiciones de los aparatos más ventajosos para ejercer la acción magnética, observaremos que esta acción será la resultante de las acciones de cada uno de los polos del electroiman que nos engendra el campo.

$$m \mu \left(\frac{1}{r^2} - \frac{1}{r'^2} \right)$$

en que

m = masa magnética de los polos,
μ = masa de las partículas,
r r' = distancia de la partícula á los polos,

y que, por consiguiente, siendo estas acciones iguales y de signos contrarios se neutralizarían si hiciésemos pasar las partículas á igual distancia de ambos polos; será necesario que se encuentren sometidos preferentemente á la acción de uno de los polos, es decir, á acercarlas lo más posible á uno de ellos. Por otra parte, siendo esta acción proporcional á la intensidad del campo, nos convendría una muy pequeña separación entre ambos polos, pues así el campo sería más intenso; pero esta separación no puede pasar de cierto límite, porque entonces, aunque las partículas pasasen muy próximas á uno de los polos, la vecindad del otro contrarrestaría su acción y, por tanto, nos daría igual efecto que un campo menos intensamente magnético. Por lo tanto, habrá un límite del que no convendrá pasar para que se nos produzca un efecto máximo y que deberá determinarse experimentalmente. Así, se ha observado que para minerales muy magnéticos serán convenientes campos de poca intensidad y de gran separación polar.

Es también de tener en cuenta la velocidad de que está animada la partícula mineral al sufrir la acción magnética, pues se le ha de dar tiempo de ser influída, es decir, es función de la permeabilidad magnética.

Antes de entrar en el detalle de los aparatos modernos de concentración, describiremos unos tipos que por su escaso rendimiento y su limitado empleo, por ser de campo poco intenso, van desapareciendo del uso. Son éstos los aparatos seme-

jantes á los de Vavin, Siemens y Kessler que, como ejemplos, serán los aquí indicados.

Separador magnético de Vavin

El separador magnético de Vavin se compone de dos cilindros huecos, constituídos por anillos de hierro dulce separados por otros de cobre, hallándose los primeros en contacto con una serie de imanes dispuestos interiormente según los radios. La substancia que ha de clasificarse, cae por una tolva superior á un plano que la distribuye sobre la superficie del cilindro superior, al cual se comunica un movimiento de rotación en el mismo sentido que el que también se comunica al inferior.

Lo que es atraíble por los imanes se adhiere á los anillos de hierro, y, después de recorrer así adheridas un cierto ángulo, encuentran unos cepillos que giran en sentido contrario que la desprenden y cae en un depósito. La substancia que no se había adherido al cilindro superior, resbala hasta sobre el inferior cuyos anillos de cobre y hierro se corresponden, respectivamente, con los de hierro y cobre del superior para que, de este modo, la substancia atraíble que escapó á la acción magnética de los anillos de hierro del cilindro superior, por haber pasado por la región correspondiente de los de cobre, quede ahora retenida por los de hierro del cilindro inferior, de donde es también desprendida mediante otro cepillo giratorio que la hace caer al mismo depósito en que caen los desprendidos del cilindro superior.

Separador de Siemens

Se compone de un gran cilindro hueco é inclinado, formado por anillos de hierro separados por otros de latón, en el que, por medio de una corriente eléctrica, se convierte en electroimanes á los anillos de hierro.

En movimiento el tambor, la materia que hay que clasificar llega por una tolva al interior del cilindro, donde se verifica la adherencia del mineral magnético á los anillos de hierro hasta que, después de haber dado media vuelta, tropieza con una lámina de latón que frota constantemente la generatriz interior más alta, se desprende de la superficie interior del tambor y cae en un canalizo central por el cual se escurre, deslizándose, hasta el exterior. La substancia no atraída va adelantando por la generatriz más baja, y, por efecto de la rotación del aparato, hasta el exterior, donde se recoge en un depósito allí dispuesto.

Separador de Kessler

Consta de un cilindro de hierro en comunicación constante con la corriente eléctrica que lo convierte en imán, y de otro cilindro de menor diámetro, unidos ambos por dos correas sin fin provistas de una serie de flejes de hierro con puntas del mismo metal.

Al girar los cilindros, los flejes quedan imanados por efecto del contacto con el primer cilindro y atraen al mineral magnético que llega por una tolva á propósito, y lo no atraíble pasa á un aparato inferior, exacto al descrito, para retener el

mineral atraíble que hubiese escapado á la acción del primero.

Al cesar el contacto de los flejes con el cilindro imanado, pierden aquéllos la acción magnética y dejan en libertad al mineral que cae á un plano inclinado que lo conduce á una caja ó depósito. La parte no magnética va á parar directamente en otra caja.

Aparatos electromagnéticos modernos. Los aparatos electromagnéticos modernos pueden ser clasificados según el siguiente cuadro:

Aparatos de electroimanes fijos	Obrando por desviación. Obrando por extracción. Obrando por desviación y extracción á la vez.
Aparatos de electroimanes móviles	Obrando intermitentemente. Obrando continuamente.

Concentradores de electros fijos actuando por desviación. — Estos aparatos aplicables ventajosamente á los minerales poco magnéticos, obran desviando las partículas del camino que recorren al caer libremente en el espacio. Necesitan menor intensidad de campo que los concentradores por extracción, pues sólo producen una desviación y no deben oponerse á la acción de la gravedad. El concentrador Wetherill, de este sistema, consta de tres polos, dos de ellos, *B* y *B'*, de igual signo, y todos ellos con piezas polares de forma especial para una mejor distribución de las líneas de fuerza. El mineral llega al campo magnético por medio de una correa sin fin *C* que gira alrededor del polo único *A*, y al llegar

al extremo *D* cae libremente de manera que las partículas no magnéticas caen directamente á la caja *N*, mientras que las partículas influídas por la corriente son desviadas hacia el polo *A* y caen en la caja *M*. Una pieza graduable por medio del tornillo *s* limita lo que debe reunirse en una ú otra caja (fig. 159).

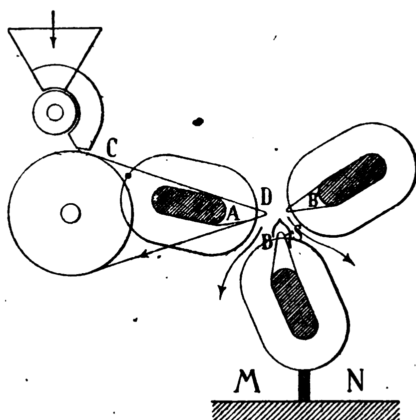


Fig. 159

Las ventajas de este aparato son que no exige una trituración excesiva y que es de poco consumo de energía eléctrica; pero, en cambio, es de poco rendimiento, pues solamente pueden ser tratados de 400 á 700 kilogramos por hora.

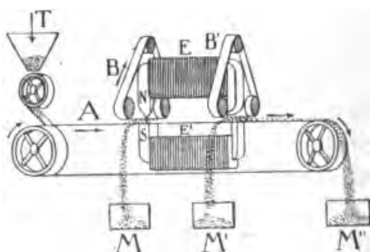


Fig. 160

Concentradores de electros fijos por extracción. — Á esta clase de aparatos pertenece el de Rowand (fig. 160), que consiste en dos electroimanes *E* y *E'* que se presentan mutuamente sus piezas polares; de

ellos, el superior *E* tiene las piezas polares terminadas en bisel para concentrar convenientemente las líneas de fuerza. El mineral se derrama por una tolva *T*, sobre una correa sin fin que lo transporta hasta el campo magnético *N S;* el mineral atraíble es extraído de la masa por el electro superior, pero antes de llegar á él tropieza con otra correa sin fin *B* que funciona normalmente á la anterior y queda adherido á ella por efecto de la atracción de la pieza polar *N,* hasta que por su alejamiento, siendo esta atracción insuficiente para contrarrestar la acción de la gravedad, cae el mineral magnético á una tolva que lo conduce á una caja ó depósito *M*. Lo que no ha sido atraído por el primer campo magnético, lo será por el segundo; y lo que ni por éste ha sido influído, se reúne en otro depósito *M*".

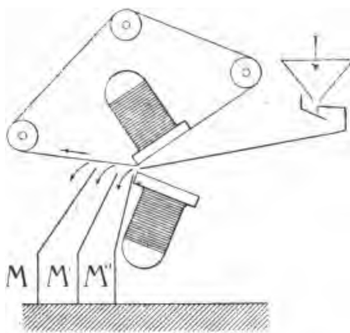


Fig. 161

El concentrador de Knowles (fig. 161) es también de este género. Tiene dos piezas polares que se presentan sus extremidades planas con cierta inclinación. El mineral llega por medio de una mesa de trepidaciones, y al encontrarse en el lugar de miníma distancia entre las piezas polares, que es donde termina la mesa, la parte magnética es arrancada de la masa por la acción del electro supe-

rior, y la parte no atraíble continúa su camino y cae en el depósito *M*''. La parte atraída no llega á ponerse en contacto con el electro superior, sino que antes de llegar á él encuentra una correa sin fin que lo detiene y lo arrastra un trecho más ó menos considerable según que la acción magnética sea más ó menos admitida por la partícula mineral. De este modo pueden obtenerse varios mixtos *M'*, *M*''.

Concentradores de electros fijos actuando por desviación y extracción. — Estos concentradores son de carácter mixto, participando en su funcionamiento de los dos anteriores tipos. El concentrador Wetherill, por desviación y extracción, posee un electroiman de forma tal que presenta tres polos, dos de ellos de igual polaridad, que vienen á concentrar su acción en un reducido espacio. El mineral llega por medio de una correa sin fin que lo conduce hasta debajo de los tres polos, los cuales desvían al mineral magnético al caer de la correa, mientras que el no magnético cae libremente á la caja *M*''. El mineral desviado queda detenido por la correa sin fin *C*, y según su grado de permeabilidad, cae en las cajas *M'* ó *M*.

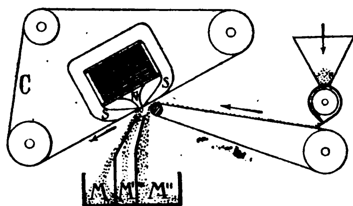


Fig. 162

Por la disposición especial de los tres polos, se efectúa, además del efecto de desviación, una extracción de las partículas magnéticas en sentido

horizontal, lo cual influye mucho en que estos aparatos sean de gran rendimiento, ya que logran tratar hasta 2,500 kilogramos de mineral, muy poco magnético por hora.

Concentrador de electro móviles y de trabajo intermitente. — El concentrador Johnson consta de una solenoide formado por un cilindro de plancha de hierro que lleva arrollados hilos conductores aislados y en comunicación con dos anillos extremos.

La fuerza magnética máxima actúa en el eje del cilindro, y, por lo tanto, si se hace llegar el mineral hasta el interior de este cilindro, al ser tocado por unas paletas de que el eje está armado el que es magnético queda adherido y en cambio, el que no lo es, va siendo empujado por estas mismas paletas hacia adelante, hasta que cae en una caja ó depósito. Cuando se ha hecho pasar una cierta cantidad de mineral, se interrumpe la corriente, y entonces, no estando imanadas las paletas, sueltan el mineral que cae otra vez al cilindro, y por su movimiento giratorio lo empujan hasta que lo hacen caer á otro depósito *M*.

Concentradores de electros móviles y de trabajo continuo. — El de Mechernich (fig. 163) consta de dos electroimanes cilíndricos paralelos y por lo tanto, presenta dos campos ó distancias polares. La pieza polar superior, es de sección circular, y la inferior, de forma oval, para obtener una conveniente distribución de las líneas de fuerza, para que haya

un espacio de gran intensidad entre dos espacios de intensidad variable, creciente y decreciente.

El mineral llega por una tolva que lo deja caer sobre una mesa de trepidación *M*, de aquí pasa á un canalizo inclinado *C* de plancha de hierro que le conduce con una velocidad, dependiente de la inclinación, hasta la región de máxima intensidad del campo magnético. Ya en el campo, las partículas minerales son atraídas por el polo más próximo, que es el superior, y que por el movimiento de rotación que tiene, le arrastra hasta que, á cierta distancia, no teniendo suficiente energía la fuerza eléctrica, el grano cae por la acción de la gravedad, y es recibido en un canalizo que le lleva fuera del aparato. Las partículas que al entrar en el campo no han sido influídas, continúan su camino y caen á otro depósito *M*''.

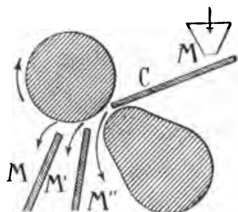


Fig. 163

Otro aparato de esta clase, es el de la *Metallurgische Gesellschaft*, de Frankfort del Mein. No tiene órganos la conducción del mineral al campo magnético, sino que desde una tolva cae directamente sobre un cilindro *A*, que gira en un campo magnétito *NS*, y que está formado, como el aparato de Vavin, por una serie de arandelas de substancia magnética, alternadas con otras de substancia no magnética. Así se consigue crear una serie numerosa de concentraciones de líneas de fuerza, y, por lo tanto, las partículas magnéticas del mineral al

pasar por el campo magnético, son arrastradas por el cilindro hasta la zona neutra en que, contrarrestados los flúidos de ambos polos, se encuentra la partícula sometida únicamente á la acción de la gravedad y cae á la caja *M*". Las partículas no influídas caen directamente á otra caja *M*, y las de composición mixta á otra *M*'.

El aparato Humboldt, también por desviación, consiste en un electroimán circular que gira en el interior de una caja cilíndrica. El mineral cae por una tolva sobre un cono distribuidor que lo reparte por toda la periferia, entre el electroimán y la caja; las partículas no magnéticas caen libremente y se reúnen en una caja *M*, y las partículas magnéticas son atraídas hacia el centro y son recibidas por una tolva que las conduce á otra caja *M*'. El aparato presenta un diámetro exterior de 40 centímetros y, por lo tanto, su desarrollo representa un polo lineal de 1'40 metros de longitud. Esta particularidad explica el que puedan clasificarse con el concentrador Humboldt hasta una tonelada de mineral por hora.

Concentradores electrostáticos

La separación electrostática tiene por objeto clasificar los minerales desprovistos de propiedades magnéticas, como por ejemplo, una mezcla de piritas de hierro y cobre ó bien una mezcla de cobre gris con blenda.

El concentrador de Blake, obra recibiendo el mineral sobre una correa sin fin de caucho que, por

estar enfrente del polo positivo de una máquina electrostática que funciona á 20,000 volts y en comunicación con la tierra, hace que el mineral se electrice negativamente. Siguiendo su camino la correa, al caer de ella el mineral choca contra el polo positivo de una máquina electrostática, cambia instantáneamente el signo y es repelido por él, en lo cual es favorecido por el polo negativo de la misma máquina que está colocado enfrente del positivo. Por ello se produce una bifurcación de la masa de mineral que es recogido en dos compartimientos distintos *MM'*.

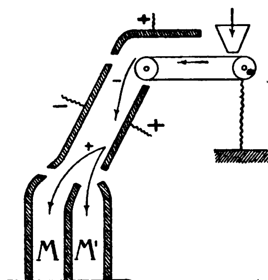


Fig. 164

Negreanu utiliza la electrización por frotamiento que reciben los minerales al salir del triturador durante su paso por los tamices, para lo cual los recibe luego sobre un condensador anular Thomson cuyo disco interior está en comunicación con el polo positivo de una máquina electrostática, y el exterior, con el polo negativo, con lo cual las partículas, que se habían electrizado negativamente, caen sobre el disco interior, y las electrizadas positivamente son atraídas por el exterior.

Aparatos especiales de concentración. Aparato de fuerza centrífuga de Bazin

Sirve para el lavado de las arenas auríferas y consiste en una especie de plato

redondo que se llena hasta los dos tercios de la materia que se trata de concentrar y se introduce en agua para que quede bien embebida. Por efecto del movimiento giratorio de velocidad progresiva, alrededor se derraman las materias finas, primero, y luego, las más pesadas á medida que la velocidad va aumentando, parando cuando se considere que pueden expulsarse substancias útiles ó sea las pajillas de oro.

De esta manera se consigue tener el oro concentrado en una pequeña cantidad de arena en el fondo de la copa.

Clasificador por medio del viento

El aparato de Sébillot se funda en la acción de una corriente de aire sobre minerales finamente pulverizados, de los cuales las partes menos pesadas serán arrastradas por dicha corriente.

Suele emplearse para separar el oro de las arenas y consiste en un gran cajón en cuyo interior hay una tela sin fin dispuesta con cierta inclinación y que recibe, por medio de una tolva, el mineral que se ha de tratar.

Un ventilador proporciona una corriente de aire que sale con velocidad constante por efecto de un regulador.

Esta corriente de aire que actúa en sentido contrario al movimiento de la tela sin fin, remueve las partes estériles y las separa del oro, que es arrastrado por la tela y cae en una tolva en que se va acumulando.

Concentrador de Clarkson y Stanfield

Para enriquecer minerales pulverizados en casos en que no se dispone de agua, puede emplearse este aparato que funciona por la acción combinada de la fuerza centrífuga, de la resistencia del aire y de la gravedad. El mineral pulverizado se hace caer en un plato que, girando con gran velocidad, lo despide por unos pequeños agujeros que tiene en su periferia. Las partes más ricas, como más pesadas, vencen con mayor facilidad la resistencia que las opone el aire y van á caer en el compartimiento más alto y lejano de una envolvente fija, mientras que los productos mixtos y los estériles se recogen en otros compartimientos más bajos y próximos.

APÉNDICES

APÉNDICE I

DESCRIPCIÓN DE LOS PRINCIPALES MINERALES Y ROCAS

Minerales de aluminio

El aluminio es, después del oxígeno y del silicio, el elemento más abundante en la tierra; pero son pocos los minerales que podemos considerar propios para su obtención con los medios de que actualmente disponemos.

Como minerales conteniendo el aluminio en suficiente cantidad para ser extraído, pueden citarse las arcillas, feldespatos, mica, kaolín, bauxitas, criolitas, etc.; pero de todos ellos sólo estos dos últimos son hoy las primeras materias de que se extrae.

La *bauxita* es una mezcla de hidrato de alúmina y de hidrato férrico de composición muy variable, pudiendo contener hasta más de 78 por 100 de óxido alumínico. Para que sea explotable ha de contener, por lo menos, de 50 á 60 por 100 de alúmina.

La *criolita* es una combinación de fluoruro sódico y de fluoruro alumínico ($Fl_{12}Al_2Na_6$) formando una masa blanca en la superficie del criadero, pero gris azulada y luego negra y transparente á mayores profundidades de 3 metros.

Hay, además, algunas rocas que contienen sulfato de alúmina, como son, por ejemplo, las tierras aluminosas, las pizarras aluminosas, la alunita ó piedra de alumbre, la aluminita ó websterita y la halotrichita ó alunógeno; y, por fin, el *corindón* que, cuando puro, constituye los zafiros y rubís, y cuando impuro, el *esmeril* de usos industriales.

Minerales de antimonio

El antimonio suele presentarse en forma de óxido ó de sulfuro, siendo este último el más importante. Se encuentra también en estado nativo, pero es muy raro.

Como *minerales oxidados* de antimonio, citaremos las flores de antimonio ó antimonio blanco Sb_2O_3, que se presenta en dos sistemas cristalinos, constituyendo la *senarmontita* y la *valentinita*. La senarmontita, cuya riqueza teórica en antimonio es de 83'5 por 100, suele presentarse cristalizado en octaedros transparentes si se trata de filones, ó en cristales opacos si se trata de bancos arcillosos. Á veces se presenta también en masas compactas, blancas ó grises.

La valentinita cristaliza en prismas ortorrómbicos ó se presenta en masas compactas.

Se la encuentra en Argelia, Borneo y Méjico.

En Toscana se encuentra otro mineral oxidado, la cervantita (Sb_2O_4).

Estos minerales oxidados pueden considerarse como un producto de la descomposición de la estibina ó como resultado de la oxidación del antimonio nativo, pues se le encuentra, generalmente, en las regiones superiores de los criaderos.

Los *minerales sulfurados* son los más numerosos, y, de ellos, el más importante es la *estibina* (Sb_2S_3), también llamada antimonita, que es muy abundante en depósitos y filones, en los granitos y pizarras micáceas y en los terrenos de transición. Contiene teóricamente 71'77 por 100 de antimonio, siendo explotable hasta una riqueza de 15 por 100, á no ser que la potencia del filón sea muy fuerte. Constituye ya largos cristales prismáticos ó aciculares del sistema romboidal, ya un agregado fibroso. Tiene brillo metálico, gris de plomo; su polvo es negro y funde á la llama de una bujía. Suelen acompañarle el oro, la plata y el arsénico, y también la blenda y la galena; y sus gangas más corrientes son el cuarzo, el espato calizo, la baritina ó el carbonato de hierro.

Lo poseen diferentes naciones, y, entre ellas, España lo ofrece en las provincias de Extremadura y Badajoz.

Después de la estibina pueden citarse, ya más secundariamente, el antimonio rojo ú oxisulfuro de antimonio llamado *pirostilbita* ($2S_3Sb_2+Sb_2O_3$), con 75 por 100 de antimonio, la burnonita, zinkenita, balangerita, miargirita, la plata sulfurada frágil, la plata rojo, la plata antimonial, polibasita, berthierita, plumosita, etc.

Minerales de arsénico

El principal de todos ellos es el mispiquel ($S_2As_2Fe_2$) que suele encontrarse en venas más ó menos considerables en las rocas cristalinas. Suele ir acompañado de piritas de hierro y de minerales de antimonio, plomo, níquel, cobalto, cobre, etc. Tiene brillo metálico y color blanco de plata. Lo hay en España, donde en la actualidad se beneficia también para la extracción del oro en alguna variedad aurífera.

Es explotable desde una riqueza de 40 á 45 por 100.

Minerales de azufre

Por lo general, se presentan en estado nativo ó en forma de sulfuros.

El *azufre nativo* se encuentra en grandes depósitos superficiales, procedentes de la condensación de las emanaciones volcánicas conocidas con el nombre de solfataras, ó bien en los terrenos correspondientes al período terciario en forma de rocas sedimentarias formadas por la conglomeración del azufre que se fué precipitando de las aguas sulfhídricas allí estacionadas en épocas remotas.

El azufre nativo se presenta unas veces en cristales transparentes, de color amarillo de limón ó amarillo de ámbar, y otras en masas opacas de textura cristalina, también amarillas. Podrían citarse muchas variedades, pero las principales son el *azufre vítreo,* transparente ó translúcido, que es el que se toma como tipo; el *azufre estalagmítico,*

que á veces no es amarillo, sino algo agrisado; el *compacto,* amorfo, blanco ó gris amarillento, que suele acompañar al azufre vítreo de los terrenos sedimentarios; el *azufre dendrítico,* perfectamente cristalizado en diminutos octaedros, el *azufre fibroso,* formado por agujas cristalinas, si bien en ocasiones presenta un aspecto compacto, y, por fin, el *azufre pulverulento,* que se presenta en masas térreas, deleznables, ó bien en capas pulverulentas amarillentas ó blanquecinas.

Puede encontrarse el azufre en toda clase de terrenos, ya en cristales incrustados en las rocas, ya formando nódulos ó polvo, ó ya como cemento de los distintos elementos de las rocas. En España, no es muy abundante; pero existen buenos criaderos en el terreno terciario de las provincias de Cádiz, Teruel, Albacete, Granada y Almería.

Las impurezas que suele contener el azufre nativo son arcilla, materias betuminosas, y á veces arsénico y selenio.

Los *sulfuros* son muy numerosos y abundan extraordinariamente; pero no trataremos aquí de ellos, sino que los describiremos al tratar de los metales correspondientes á sus bases.

Minerales de cadmio

Los minerales de cadmio son de extrema rareza. Se encuentra un sulfuro de cadmio (SCd) llamado *greenockita,* en Escocia, pero en tan poca cantidad, que no puede basarse en él la extracción del cadmio.

Lo más usual es tomar como primeras materias para esta fabricación, los polvos condensados en determinados sitios de los aparatos en que se tratan la blenda y la calamina, que son los minerales más corrientes del cinc, y que llegan á contener hasta 5 por 100 en forma de carbonato las calaminas españolas, hasta el 6 por 100 en forma de sulfuro la blenda de Przibram, y sólo 1'14 y 0'21 por 100 como máximo en las blendas de Nuissières y belgas. Lo hay también en los minerales cincíferos de la Alta Silesia, del Hartz, Freiberg, Cumberland, etc.

La blenda cadmífera tiene un aspecto resinoso y color rojizo; las blendas amarillas son menos cadmíferas.

El cadmio es un metal que acompaña casi constantemente al cinc, al igual de lo que sucede con el cobalto y el níquel.

Minerales de cinc

Los minerales de cinc existen con relativa abundancia, formando capas irregulares ó filones intercalados en los terrenos calcáreos ó dolomíticos, en los que están frecuentemente asociados con la galena, la hematites parda y el espato calizo. Los dos minerales industriales de cinc son la blenda y la calamina. La calamina, teóricamente, es un silicato hidratado, pero en la práctica se consideran como calamina á las mezclas de carbonatos (smithsonita) y silicato.

La *hebetina* (SiO_4Zn_2), también llamada *willemita,* es un silicato de cinc que llega á tener hasta 58 por 100 de cinc. Es de color variable; blanco sucio, amarillo, verdoso y hasta rojo ó pardo, pues casi siempre va mezclado con óxidos de hierro y de manganeso. Una de sus variedades es la calamina silícea ($SiO_4Zn_2+H_2O$), que también se conoce con el nombre de heminiorfita, cuya riqueza máxima es de 53'7 por 100. De esta última, se encuentra en España.

La *blenda* (SZn) ó sulfuro de cinc, es quizás el más importante mineral de cinc, ó por lo menos es el que en mayor abundancia se trata para la extracción de este metal. Casi nunca es blenda pura, sino que contiene usualmente sulfuros de hierro, de cadmio y de plata en mezcla isomorfa.

Puede contener hasta 67 por 100 de cinc, y se presenta en masas granujientas ó laminares, de color pardo y brillo casi metálico. Las buenas blendas han de tener de 35 á 50 por 100 de cinc.

Existe en casi todos los terrenos, comúnmente asociado á la galena y también con los minerales de cobre, hierro, plata, arsénico, antimonio, etc., encajada en el cuarzo,

dolomía, pizarras, calizas, hierro espático, gres, granitos y gneiss, así como en la mica, clorita y hornblenda.

Se encuentra en casi todos los países; y, en España, la tenemos en Santander, Cartagena, Granada, Albacete y otros puntos.

Á menudo los yacimientos de blenda se transforman, á cierta profundidad, en yacimientos de plomo.

La *calamina ordinaria,* también llamada smithsonita, es carbonato de cinc (CO_3Zn), que puede llegar á tener 52 por 100 de cinc. Casi nunca se presenta pura, sino que le acompañan usualmente los carbonatos de cadmio, hierro, manganeso, calcio y magnesio en mezcla isomorfa.

Se presenta en cristales, ó masas térreas ó concrecionadas ó compactas, de color blanco ó gris, que puede también ser amarillo, verde, azul ó pardo.

Se encuentra en los terrenos calizos ó dolomíticos terciarios, y en el carbonífero, liásico y triásico, constituyendo filones ó bolsadas, ó bien yacimientos de muy corta extensión en los estratos calizos.

En España, es muy abundante; encontrándose en los sitios indicados antes para la blenda, y, además, en Almería, Castellón, etc.

Muchas veces los criaderos de calamina, quedan, á mayor profundidad, transformados en yacimientos de blenda.

Hay también otros minerales de ya menor importancia como son la cincita, ú óxido rojo de cinc (ZnO); la *cinconisa,* ó *hidrocincita* ($Co_3Zn+2Zn(OH)_2$), que es un hidrocarbonato; la *franklinita* ($3(FeZn)O+(FeMn)_2O_3$), que es un ferrito de cinc, la *gahnita* ó *espinela de cinc,* que es un aluminato, etc. De ellos, la cincita que se presenta en granos menudos ó en masas foliáceas, de brillo diamantino, pero no metálico y color variable entre el amarillo anaranjado y el rojo obscuro, debido á los óxidos de hierro que suelen acompañarle, puede contener hasta 80 por 100 de cinc; y la *franklinita,* que forma cristales octaédricos y dodecaédricos, constituye masas granujientas de color negro de hierro, y brillo metálico y puede contener hasta 21 por 100 de cinc.

Minerales de cobalto

Los más importantes son el cobalto arsenical, el cobalto gris, el cobalto sulfurado y el cobalto oxidado negro ó asbolano.

El primero de ellos ó *esmaltina* (As_2Co), contiene hasta 28 por 100 de cobalto. El cobalto gris ó *cobaltina* (SAsCo) contiene hasta 35'5 por 100, y, muchas veces, parte del cobalto está reemplazado por el níquel ó por el hierro. El cobalto oxidado negro ó *asbolano* es una mezcla de óxido cobaltoso, bióxido de manganeso é hidrato férrico, cuya riqueza en cobalto oscila entre 2 y 20 por 100; en España (Asturias) lo hay con 15 por 100. El cobalto sulfurado ó *linneíta* (S_4Co_3) contiene á menudo más níquel que cobalto.

Por fin, hay varios otros minerales de muchísima menor importancia, tales como la *eritrina* ($As_2O_8Co_3+8H_2O$) que es un arseniato de cobalto que suele encontrarse en los afloramientos de los criaderos de cobalto arsenífero, y la *bieberita* (SO_4Co+7H_2O) que es un sulfato de cobalto.

En la *garnierita* (silicato doble de níquel y magnesio) suele haber de 2 á 3 por 100 de cobalto.

Minerales de cobre

Los minerales de cobre puede decirse que se hallan tan frecuentemente como los de hierro, si bien en cantidades mucho menores. Son también numerosos, presentándose ya nativo, ya en forma de óxidos, ya en la de sulfuros ó carbonatos.

El *cobre nativo* se presenta en bloques, arborescencias y arenas en medio de las rocas volcánicas ó en el gres del período pérmico. Donde más abunda en esta forma es en el Lago Superior, del Estado de Michigán (Estados Unidos) y en Santa Rita (Nuevo Méjico). En forma de arenas lo hay en Chile y en Australia.

En España también hay cobre nativo, pero no en abundancia. Son ya explotables los minerales con 2 á 5 por 100 de cobre, pues tanto la explotación como la metalurgia del cobre nativo son muy sencillos.

Son varios los *minerales oxidados*. Entre ellos, la *cuprita* (Cu_2O) ó cobre oxidado rojo, con 88'8 por 100 de cobre, se presenta compacta ó térrea, en cristales rojos, cubiertos de malaquita. Tiene aspecto algo parecido al cinabrio, del cual se distingue porque no es volátil, y á la hematites, de la cual difiere por sus reacciones químicas. Y la *pelokonita* (CuO), ó cobre oxidado negro, contiene 79'8 por 100 de cobre y no suele encontrarse aislada, sino acompañando á ciertos minerales de hierro y de manganeso.

Tanto la cuprita como la pelokonita son producto de la descomposición de los minerales sulfurados de cobre.

Mucho más abundantes que los óxidos se presentan los *sulfuros de cobre*. La *calcosina* (SCu_2) contiene poco menos de 80 por 100 de cobre y se presenta casi siempre compacta; tiene brillo metálico y color gris de plomo ó negruzco, con manchas verdes ó azules. Se encuentra en grandes proporciones en los Estados Unidos. Su riqueza más corriente es la de 30 á 35 por 100, pero estos yacimientos son de riqueza muy variable. La *covellita* (SCu), que contiene 66 por 100 de cobre, se encuentra raramente. La *calcopirita* ($SCu_2+S_3Fe_2$) contiene 34'5 por 100 de cobre. Suele explotarse ya con una riqueza de 12 á 15 por 100 de cobre, pero á menos de 7 por 100 ya no lo es, especialmente si es de naturaleza filoniana. De todos modos, ciertos minerales, por ejemplo, en Río Tinto, en que se encuentra diseminada en las masas de pirita de hierro, ya es explotable con 2 á 5 por 100. Es el mineral de que se extrae casi todo el cobre del mundo. Se presenta en masas compactas, con brillo metálico; su color es algo parecido al del oro nativo, es decir, de un amarillo algo más obscuro que el de la pirita de hierro; en ocasiones es de un amarillo irisado, y entonces constituye la *bornita* ó cobre abigarrado ($3SCu+S_3Fe_2$), que contiene por término medio 55'6 por 100 de cobre, y que

es mucho menos abundante que el cobre piritoso ó calcopirita con la cual suele ir mezclada. Su composición, muy variable, pues oscila entre 42 y 70 por 100, parece indicar que es producto de la descomposición de otros minerales de cobre.

Todavía hay más sulfuros de cobre, pero son, al igual que la calcopirita, sulfuros múltiples; así hay la *burbonita* ($S_3SbCuPb$) ya citada en los minerales de antimonio, que contiene 12'7 por 100 de cobre y 42'3 por 100 de plomo; la *enargita* [$S_3As_2(4SCu+SCu_2)$], que encierra 48'6 por 100 de cobre; el cobre gris, también llamado *tetraedrita* [$4(SCu_2,SFe,SZn,SAg_2SHg_2)S_3Sb_2,S_3As_2$], que se presenta, generalmente, en masas compactas, de brillo metálico y color gris de acero. Su riqueza en cobre oscila entre 15 y 48 por 100, siendo ya explotables desde 10 á 12 por 100. Su riqueza en cobre suele estar en razón inversa de la cantidad de plata que haya presente.

Citaremos aquí, como apéndice, á las menas sulfuradas del cobre, el cobre sulfatado ó *calcantina* (SO_4Cu+5H_2O), que contiene 25'4 por 100 de cobre y se encuentra, frecuentemente, como producto de la descomposición de los minerales sulfurados de cobre mezclados con pirita de hierro.

De entre los varios *carbonatos de cobre,* mencionaremos la *azurita* ($2CO_3Cu+(HO)_2Cu$), con 55 por 100 de cobre, que se encuentra en masas cristalinas, compactas ó térreas, de color azul; no es muy abundante y suele encontrarse junto á la malaquita. La *malaquita* ($CO_3Cu + CuO + H_2O$), que contiene 57'3 por 100 de cobre es originada, al igual que la azurita, por la descomposición de los minerales de cobre sulfurados.

Finalmente, citaremos la *atakamita* ó cloruro de cobre ($Cl_2Cu + CuO + 3H_2O$), que contiene 59'4 por 100 de cobre y es muy abundante en Chile y en Perú, y ciertas impregnaciones cupríferas, como son las pizarras cupríferas de Mandsfel (Alemania) y las pizarras piritosas de Huelva, en nuestra España. Con 5 á 10 por 100 resulta ya remunerado el trabajo de la explotación.

Minerales de cromo

Sólo hay el *hierro cromado ó siderocromo* que tenga importancia. En este mineral las proporciones de hierro y cromo son muy variables, presentando un término medio correspondiente á la fórmula Cr_2O_3,FeO. Su riqueza máxima en cromo es de 52 por 100. Constituye masas distribuídas en la serpentina y en los detritus de las rocas de serpentina. Tiene brillo aunque no francamente metálico, y su color es negro ó muy obscuro.

Principalmente, se beneficia en Grecia, Asia Menor, Canadá y Oceanía. Las gangas silíceas producen una fuerte depreciación del mineral.

Minerales de estaño

No son muy numerosos, y el único que se emplea para la extracción del estaño es la *casiterita,* que es un óxido (SnO_2) cristalino, dendrítico, ó más ó menos compacto, de color agrisado ó negro, brillante, de fractura de aspecto resinoso. Tiene algo del aspecto de algunas blendas ó del granate obscuro. Contiene 78'6 por 100 de estaño.

Se encuentra en filones, en *stockwerks* y también en terrenos secundarios de aluvión. El que se encuentra en los yacimientos primitivos, que se conoce con el nombre de *mineral de montaña,* se presenta en las masas de granito de gneis y de las pizarras, y casi siempre va acompañado de alguno ó varios de los minerales y gangas siguientes: cuarzo, espatofluor, feldespato, esteatita, mica, turmalina, clorita, sulfuros varios, hierro oligisto y hierro magnético, bismuto nativo, molibdenita, wolframita, etc. Por su parte, los minerales aluvionanos de estaño proceden de la desagregación de estos minerales de montaña.

Los minerales aluvionianos suelen ser más ricos que los de montaña, porque parte de los elementos que iban con él han sido destruídos y arrastrados por las aguas. Los aluviones con 1 á 6 por 100 de estaño ya son explotables.

El punto en que parece abundar más el estaño es en las regiones del mar Índico, siendo quizás Banca y Malaca, donde el estaño es de aluvión, los centros más importantes. En España tenemos también estaño en las provincias de Orense (Monterrey), Zamora, Asturias y Almería.

Citaremos también como mineral de estaño, la *pirita estañífera*, que contiene de 25 á 28 por 100 de estaño, y que se encuentra en forma de mezcla de sulfuros de cinc, estaño, hierro y cobre. Es muy raro.

Minerales de hierro

Son los minerales más abundantes, y se encuentran ya en forma de sedimentos ya en la de filones, impregnaciones, etc. Lo más comúnmente está combinado en estado de óxido, sulfuro, silicato ó carbonato. El hierro nativo es muy poco frecuente.

Entre los óxidos citaremos *la magnetita* ú óxido magnético (Fe_2O_3, FeO) de color negro, muy magnético, á veces cristalizado en octaedros regulares. Se encuentra, generalmente, en los terrenos aluvionianos, procedentes de la descomposición de otros minerales. Contiene 72 por 100 de hierro. El hierro *oligisto* (Fe_2O_3), que contiene 70 por 100 de hierro, si bien, en general, sólo contiene de 55 á 60 por 100, también es negro ó gris acerado si está cristalizado, y si está amorfo es rojo pardo. De él hay muchas variedades y entre ellas citaremos la hematites roja, el hierro especular, el hierro micáceo, el hierro oolítico rojo, una parte de los ocres naturales, la creta roja, etc.

Vienen luego los *óxidos hidratados,* cuyo tipo es la *limonita* ($2Fe_2O_3,3H_2O$), cuya riqueza en hierro puede llegar al 60 por 100, contándose entre ellos la hematites parda, el hierro oolítico pardo, muchos ocres, la tierra de siena quemada, etc. Sus colores varían del negro al amarillo y se presentan compactos, térreos ó en granos. Para que sea remuneradora la explotación, el mineral ha de contener más de 30 por 100 de hierro, á no ser que el arranque y transporte sea muy fácil.

Ampliando algo lo que á la hematites roja se refiere, diremos que cristaliza en el sistema romboédrico, siendo, en ocasiones, los cristales aplanados paralelamente á la base, ó bien en prismas exagonales ó en dobles pirámides exagonales.

Su aspecto puede ser compacto, granular, concrecionado, fibroso, térreo, laminar, etc., y según sea este aspecto varía el color, pues las hematites compactas son grises ó rojas, las cristalinas son grises y de brillo metálico y, á veces opacas ó de color rojo de sangre; las fibrosas son negras ó rojas, etc.

Como *sulfuros* citaremos la *pirita* (S_2Fe) de la cual hay dos variedades: la blanca y la amarilla. La primera, cristaliza en el sistema ortorrómbico, y la segunda, en el sistema cúbico; se encuentran constituyendo depósitos ó impregnaciones en los terrenos de sedimentación y muchas veces también en los terrenos graníticos y porfíricos. No se emplean para la metalurgia del hierro, sino como minerales de azufre para la fabricación del ácido sulfúrico. Hay también la *pirrotita* ó *pirita magnética* (S_8Fe_7) que suele acompañar á las dos anteriores, de las cuales ha de separarse por no ser propia para la fabricación del ácido sulfúrico. Hay también *sulfuros dobles*, como el que se ha descrito entre los minerales de cobre con el nombre de calcopirita, y entre los minerales de arsénico con el de pirita arsenical ó mispiquel.

Entre los *carbonatos de hierro*, es muy importante la *siderosa* (CO_3Fe), que llega á contener 48 por 100 de hierro. Es un mineral que se presenta ya compacto, ya laminar, de color amarillento, si bien en contacto del aire pardea rápidamente. Es muy conveniente, para que resulte beneficiosa la explotación, que su riqueza se aproxime mucho á la teórica.

Los *hierros silicatados* son silicatos naturales de composiciones muy variadas, y los *hierros manganesíferos* son minerales de hierros (hematites, limonitas, etc.) con una proporción más ó menos elevada de manganeso (de 5 á 18 por 100).

Minerales de manganeso

Al igual que el hierro, es abundantísimo, y hasta en muchas ocasiones le acompaña, como ya se ha indicado al tratar de los minerales de hierro manganesíferos.

Los principales minerales son los óxidos y los carbonatos, empleados principalmente en la metalurgia del hierro y en la fabricación de algunos productos químicos de gran circulación.

Suele encontrarse aprisionado en los terrenos antiguos, y también constituye grandes depósitos en los terrenos de sedimentación y en los granitos. Un buen mineral de manganeso ha de contener de 45 á 50 por 100 de metal; los minerales del Cáucaso llegan á contener de 52 á 53 por 100. Por otra parte, la cantidad de fósforo ni de azufre no ha de traspasar el 0'10 por 100. Con respecto á las gangas serán preferibles las calizas á las silíceas. Las gangas de cal y aluminio son preferidas porque actúan como fundentes. En cambio, cuando la sílice pasa de 9 por 100, sin llegar á 15°, se descuentan 20 céntimos por unidad de sílice; y más allá del 15 por 100 ya no son solicitadas.

Entre los *óxidos anhidros* hay la pirolusita (MnO_2), la braunita (Mn_2O_3), la manganosita (MnO) y la haussmanita (Mn_2O_3, MnO). El primero de ellos, que es el bióxido de manganeso, es el más pobre en manganeso, pues sólo puede llegar á contener 63 por 100 y se encuentra en masas compactas, fibrosas ó radioladas; tiene brillo metálico y color negro como el hierro. Suele acompañarle, alternándose las capas, el psilomelano, que es una de sus variedades.

La *braunita,* ó sesquióxido de manganeso, sigue en riqueza á la pirolusita, pues llega á alcanzar casi 70 por 100 de manganeso; se presenta, por lo general, en masas cristalinas ó granujientas, de color pardo negruzco, muchas veces con algo de brillo metálico.

Á continuación sigue la *haussmanita* con 72 por 100 de manganeso, en cristales ó masas granujientas ó compactas,

de color pardo negruzco y de brillo algo metálico. Suele contener como gangas, baritina y sílice.

Cierra la serie de óxidos la *manganosita* ú óxido de manganeso, con 77 por 100 de manganeso. Es de color verde esmeralda, que se ennegrece en contacto del aire.

De estos óxidos los hay de *hidratados*, como, por ejemplo, el sesquióxido de manganeso hidratado ó *acerdesa* (Mn_2O_3, H_2O), que contiene 62 por 100 de hierro y se presenta en cristales ó en masas compactas, siendo su color gris de acero con brillo metálico, y el bióxido de manganeso hidratado ó *wad*, que es un óxido de manganeso con cobalto y cobre, de riqueza muy variable, que se presenta en masas térreas ó compactas de color negro pardusco, asociado á la cal, hierro, barita y potasio.

El *carbonato* de manganeso más importante es la *dialagita* (CO_3Mn), que puede llegar á tener 47 por 100 de manganeso. Se presenta en masas compactas de color pardo ó negro, parecidas á la de la caliza metamórfica, y á veces en pequeños cristales romboédricos de color rosado. Casi siempre está acompañado de los carbonatos de cal, de magnesio y de hierro. Su color se obscurece rápidamente en contacto del aire. Lo hay en España.

Hay también la *rodonita*, que es un silicato de manganeso (SiO_3Mn), que puede contener casi 42 por 100 de manganeso y suele presentarse en masas compactas, muy duras, de color rosado, y, á veces, en pequeños cristales de color rojo de carne con brillo vítreo ó nacarado. Se ennegrece por el contacto del aire. Casi siempre está acompañado de la cal y del hierro.

Minerales de mercurio

No son de larga enumeración, pues casi únicamente se presenta nativo y en forma de sulfuro.

El *mercurio nativo* se considera como un producto de la descomposición del cinabrio y se presenta muy pocas veces y, además, en pequeña cantidad. El caso más notable de mercurio nativo acaeció en el criadero de cinabrio de Alma-

denejos, en 1835, en que se descubrió una bolsada, que manó en surtidor durante varias semanas, rindiendo en total como unas dos toneladas de mercurio puro.

Algunas veces se encuentran amalgamas, si bien casi exclusivamente la de plata, que cristaliza en octaedros, y aun ésta es casi una rareza mineralógica. Donde se encuentra en mayor cantidad es en las minas de Arqueros (Chile).

La forma natural más abundante del mercurio es la de *sulfuro* ó *cinabrio*, de cobre rojo ó rojo obscuro, que cristaliza en octaedros. Contiene el 86 por 100 de mercurio y se encuentra, por lo general, en compañía de pequeñas cantidades de mercurio nativo y de piritas y materias betuminosas y con gangas de naturaleza cuarzosa y espática. Por lo general, constituye masas térreas ó granujientas, que se encuentran en casi todos los terrenos posteriores á las pizarras cristalinas primitivas. Los yacimientos situados en el gres suelen ser de mayor riqueza, pero, por lo general, todos los yacimientos de mercurio son de riqueza muy variable. En Idria y Almadén no suelen presentar riqueza mayor de 8 á 10 por 100, pero es bastante constante.

Los criaderos más importantes del mundo existen en Almadén (España), en Idria (Austria) y en Nueva Almadén (California).

Á veces, se encuentra una variedad del cinabrio, el *metacinabrio* de California, que es un sulfuro negro, amorfo. También se ha encontrado esta variedad en Munon (Asturias) donde se presenta muy rico en sulfuro de mercurio (92'44 por 100), y con regular cantidad de sulfuro de cinc y algo de sulfuro de hierro.

También pueden citarse el *mercurio córneo*, que es un subcloruro que llega á contener más del 85 por 100 de mercurio (Álava, Almadén, Idria); el bermellón, que es un antimoniato de mercurio; algunos cobres grises, que á veces contienen suficiente cantidad para que su tratamiento resulte remunerador; la *onofrita*, que es un sulfoseleniuro; la *coccinita*, ó yoduro mercúrico, etc.

Minerales de molibdeno

No son minerales abundantes; pero se encuentran en varias formas, y, por lo general, diseminados en granos ó vetas en las rocas de los terrenos antiguos. El más importante de ellos es la *molibdenita,* que llega á contener 59 por 100 de molibdeno. Tiene aspecto muy parecido á la galena, pero no tiene el brillo metálico tan manifiesto como ella. Se encuentra en Suecia, en Sajonia y en los Estados Unidos, y en España la hay, pero en muy corta cantidad, en las cercanías de Madrid y Barcelona.

La *molibdita* es ácido molíbdico que se encuentra, generalmente, en los afloramientos de la molibdenita, de la cual procede por su descomposición.

Son también minerales de molibdeno la *melinosa* ó carbonato de molibdeno que forma capas ó filones en los terrenos superiores de las calizas de transición; la *islemanita* ú óxido azul, y los molibdourano, molibdoferrita y peteraíta, que son molibdatos de urano, hierro y cobalto respectivamente.

Minerales de níquel

El níquel sólo se encuentra en la naturaleza asociado á otros metales, ya como elemento predominante, ya en lugar secundario. Tanto en uno como en otro caso, los minerales son propios para la extracción del níquel. De todas maneras, en la actualidad, casi todo el níquel se extrae de los silicatos y de las piritas magnéticas niquelíferas.

De los varios minerales de níquel mencionaremos los siguientes:

El *arseniuro* de níquel, llamado niquelina ó niquelina roja (AsNi), conocido en Alemania con el nombre de *kupfernickel,* contiene 43'5 por 100 de níquel. En ocasiones, parte del níquel está reemplazado por el cobalto y el hierro, y también el arsénico por el antimonio y pequeña cantidad de azufre. Tiene color rojo de cobre, y se encuentra principalmente en Alemania.

También se encuentra en Alemania y en los mismos yacimientos que la niquelina roja, la variedad conocida por niquelina blanca ó cloantita (As_2Ni), más rara que la anterior.

La *garnierita* es un silicato doble de níquel y magnesio, de composición variable $(SiO_3)NiMg+nH_2O$, que se presenta en masas amorfas, blandas ó frágiles, de color verde pálido, que puede contener hasta 40 por 100 de níquel, y que se encuentra abundantemente en Nueva Caledonia, en las serpentinas y dioritas, acompañada muchas veces con cobalto y cobre. Lo hay, aunque poco, en España, en la provincia de Málaga. El que presenta una riqueza de más de 3 por 100, ya es explotable. El de Nueva Caledonia suele tener de 10 á 12 por 100.

La *pirrotina niquelífera*, SNi, S_8Fe_7, puede llegar á tener 11'5 por 100 de níquel; es de color amarillo, pardo ó rojizo, y se encuentra en Canadá, con la calcopirita, formando grandes depósitos lenticulares en los bancos de diorita. También suele contener cobre (hasta 3 por 100) y un poco de cobalto. Estos yacimientos presentan la particularidad de que la cantidad de cobre parece disminuir y la de níquel aumentar á medida que la profundidad del criadero aumenta.

Por fin, y sólo para mencionarlos, citaremos la *bunsenita* y la *nicomelana* (óxidos de níquel); la *breihauptita* ó níquel antimonial (SbNi), con 31'5 por 100 de níquel, del Hartz; la *ullmanita* ó sulfoantimoniuro de níquel (SSbNi), con 26 por 100 de níquel; la *gersdorfita* ó sulfoarseniuro de níquel (SAsNi), con 35 por 100 de níquel; la *milerita* (SNi), con 64'5 por 100 de níquel; la *punerita*, la *linneatita*, la *carolita* y la *pentlandita*, que son sulfuros; la *melonita*, que es un telururo; la *morenosita*, que es un sulfato; la *annabergita*, que es un arseniato, etc.

Minerales de oro

El oro se presenta casi siempre nativo, en forma ya cristalina ya dendrítica, constituyendo pepitas ó granos de muy variados tamaños puesto que comprenden desde el polvo

casi impalpable á los trozos de regular tamaño, resultantes de la destrucción de los yacimientos primitivos de oro.

Se presenta en terrenos antiguos de aluvión, constituídos en su mayor parte por materiales de naturaleza cuarzosa, de color rojo, trabados por un cemento arcilloso. En ocasiones, se ha encontrado también el oro nativo en filones de ganga cuarcífera, pero siempre en terrenos antiguos. Estos cuarzos auríferos deben contener por lo menos 10 gramos de oro por tonelada, para ser explotables. De manera que si en la floración, cerca de la superficie, no presentan riqueza mayor que ésta, sería de dudoso resultado la explotación que se emprendiera, pues, generalmente, van empobreciéndose con la profundidad. Algunos minerales contienen 100 y 200 gramos por tonelada. En cambio, los aluviones auríferos con sólo 1 ó 2 gramos de oro por tonelada, son todavía explotables. El oro nativo rara vez es puro, sino que más bien ha de considerarse como aleaciones de diversos metales (plata, cobre, mercurio, paladio, rodio, etc.), en que el oro es el elemento predominante, y la plata un elemento casi siempre presente; y cuando ésta constituye la tercera parte del mineral, se tiene la variedad de oro nativo denominado *electrum,* que es de color casi blanco.

En España, se encuentran pepitas de oro en el terreno diluvial de la vega de Granada; en las montañas de León; en Extremadura; en Culera (Gerona); y los yacimientos extranjeros más importantes existen en el Brasil, Australia, Transvaal y Rusia.

El terreno más abundante en oro es el silúrico.

Como minerales de oro, podemos indicar las piritas y sulfuros auríferos que, generalmente, se encuentran diseminados en las rocas cuarcíferas. Estos sulfuros son muy variados, con la particularidad de que, cerca de los afloramientos, estos sulfuros pueden haberse descompuesto, y entonces el oro se encuentra asociado, por ejemplo, á los óxidos de hierro (hematites parda ó limonitas) y otros minerales. También se observa otra particularidad, y es que, por lo general, cuanto más compleja es la constitución de estos minerales mayor es su riqueza en oro.

La cantidad de oro que contienen, no obstante, es sumamente pequeña, como lo demuestra que las 66,000 toneladas trituradas en la famosa mina *Callao,* en 1887, dieron un término medio de 1'11 onzas por tonelada, y en 1891, las 59,000 toneladas trituradas dieron 0'59 onzas por tonelada.

Entre los minerales de oro, requieren especial mención la *silvanita,* que es un telururo auroargentífero $Te_2(AuAg)$, nagiagita (telururo auroplomífero), y algunos sulfoantimoniuros.

Minerales de plata

He aquí, de entre los numerosos minerales de plata, los que más corrientemente son beneficiables:

La *plata nativa* se suele encontrar en mezcla isomorfa con otros metales (oro, mercurio, cobre, bismuto, antimonio, etc.), en cristales (cubos, octaedros y dodecaedros romboidales), hilos, arborescencias ó láminas blancas, de brillo característico, inyectadas en las rocas.

Con el mercurio, forma una amalgama llamada arquerita ($Ag^m Hg_n$) que contiene de 26 á 86 por 100 de plata.

En España, hay plata nativa en Cuevas de Vera; en el Horcajo; en Guadalcanal, y en Farena.

La *plata antimonial,* ó discrasio, es bastante abundante y se considera como un antimoniuro de plata ($SbAg_2$ á $SbAg_{13}$).

La *plata arsenical* es un arseniuro de plata muy beneficiable, que abunda bastante; al propio tiempo suele contener hierro y azufre.

La *plata negra ó sulfurada,* llamada *argirosa* SAg_2, contiene 87'1 por 100 de plata y pequeñas cantidades de plomo, cobre y hierro. Se presenta en cristales ó masas compactas, con brillo metálico y color negro agrisado, junto con otros minerales sulfurados.

La *plata agria,* ó estefanita, es un sulfoantimoniuro que, en España, se encuentra en Hiendelaencina. Contiene hierro y azufre en muy baja proporción. También en Hiendelaencina se encuentra la *plata estriada,* que contiene plata, plomo, antimonio y azufre.

La *plata roja obscura* ó *argiritrosa* ó *piargirita* ($S_3Sb_2+3SAg_2$), contiene 59'8 por 100 de plata. La hay en España.

La *plata roja clara* ó *proustita* ($S_3As_2+3SAg_2$), contiene 65'4 por 100 de plata. La hay en España, en Guadalcanal.

La *miargirita* es un sulfoantimoniuro de plata (SSbAg), de color negro, y contiene de 32'8 á 36'4 por 100 de plata.

La *plata córnea* ó *kerargirita* (ClAg), se presenta en cristales cúbicos ó en masas compactas. Es de color gris y, á veces, con tendencia al verde y azul. Contiene 75'2 por 100 de plata. Es un producto de la descomposición de los minerales sulfurados de plata, que se encuentra en los afloramientos.

Por fin, citaremos la *tetraedrita,* ya mencionada en los minerales de antimonio; la *polibasita* que contiene de 64 á 72'5 por 100 de plata; la plata carbonatada ó selbita, y los bromuros y yoduros de plata naturales.

Es también muy común explotar los llamados *cobres grises argentíferos,* que suelen contener de 400 á 500 gramos de plata por tonelada. En Hungría y otros países se consideran ya como minerales de plata, si alcanzan dicha riqueza.

Por su parte, las *galenas argentíferas* que pueden contener hasta 1,500 y 2,000 gramos de plata por tonelada, son buenos minerales para extraerla; pero si la cantidad de plata no alcanza á 200 gramos por tonelada, no resultan remuneradas, y se tratan sólo para obtener el plomo.

Minerales de platino

Se encuentra casi exclusivamente nativo en los terrenos de aluvión, constituyendo granos ó laminitas de color blanco y brillo metálico, que están mezclados con arenas de rocas cristalinas (serpentinas, cuarzo, corindón, hierro cromatado, hierro magnético, etc.), y también, como el oro, casi nunca es puro, sino que está aleado con otros metales de la misma familia (rodio, paladio, osmio, iridio y rutenio) y, á

veces, también con el hierro, oro y cobre. Por lo general, la riqueza en platino no pasa de 6 á 8 gramos por tonelada.

También se conoce un mineral en que el platino está combinado con el arsénico, y, además, también acompaña, á veces, si bien en muy pequeñas cantidades, á los cobres grises, blendas, minerales de plomo y plata, minerales de urano, etc.

Minerales de plomo

Los principales, son los sulfuros y los carbonatos. También se encuentra nativo, pero siempre en muy poca cantidad, y formando laminillas ó pequeños glóbulos en algunos criaderos de galena.

La *galena* (SPb), contiene 86'57 por 100 de plomo y se presenta constituyendo masas cristalinas en que los cristales no están del todo desarrollados, y más ó menos íntimamente mezclados con gangas de cuarzo, calcita, baritina ó espato fluor. En muchas ocasiones le acompaña la blenda (sulfuro de cinc), y casi siempre es argentífera, en especial cuando los filones de galena atraviesan rocas cristalinas metamórficas. La plata suele contenerla en mezcla isomorfa en forma de sulfuro, pero otras veces en forma de diversos minerales diseminados por su masa. Además, suelen acompañarla piritas, cobre piritoso, minerales de arsénico y de antimonio, etc.

Tiene un cierto brillo metálico, azulado, que la diferencia perfectamente de la blenda y de los sulfuros de cobre y plata.

La galena se encuentra en casi todos los países, así es que sólo citaremos los criaderos de España, que son bastante importantes, especialmente los de Cartagena, Linares, San Sebastián, Badajoz, Tarragona, etc. Casi siempre se presenta constituyendo filones, tanto en las rocas eruptivas (granito, diorita, sienita, etc.) como en las sedimentarias (gneis, caliza jurásica, pizarras metamórficas, etc); pero también, á veces, está en masas de más ó menos exten-

sión en los terrenos calizos y dolomíticos de casi todas las formaciones, si bien preferentemente junto á las calizas y pizarras.

Las galenas, para ser explotables en buenas condiciones, han de tener una riqueza de 60 á 75 por 100 de plomo.

El *carbonato de plomo* ó *cerusita* (CO_3Pb), contiene 77'5 por 100 de plomo y se encuentra, en forma de masas cristalinas, compactas ó térreas, de color blanco agrisado, en las capas superficiales de los yacimientos de galena, como producto que de su descomposición deriva.

En ocasiones, tiene color negro ó casi negro por las substancias carbonosas con que está mezclado.

En Cartagena y Linares se encuentra con regular abundancia.

La *anglesita* ó plomo sulfatado (SO_4Pb), contiene casi 68'5 por 100 de plomo y procede también de la descomposición de la galena, como el carbonato, pero se encuentra en menor cantidad que éste y en forma de cristales ó masas blancas de aspecto ligeramente resinoso.

Se encuentra también en España.

El *plomo verde* ó *piromorfita* ($Cl_2Pb+3P_2O_8Pb_3$) y el *plomo pardo* ó *pirometesita* ($Cl_2Pb+3As_2O_8Pb_3$) contienen, respectivamente, 69'5 y 76'2 por 100 de plomo. Proceden de la descomposición de la galena y otros minerales de plomo, por lo cual yacen en las capas superiores de los criaderos de plomo. Los hay también en España.

La *burnonita* ($2SPb+SCu_2+S_2Sb$), ya citada en otro lugar, se considera como un sulfoantimoniuro de plomo y de cobre. Constituye masas granujientas ó compactas, de brillo metálico y color gris de acero ó negro de hierro; á veces se encuentran cristales maclados en forma de ruedas dentadas.

Los otros minerales de plomo no tienen importancia para los efectos de la gran metalurgia del plomo. Entre ellos, citaremos la *urilfenita* (molibdato), el plomo rojo ó *crocoita* (cromato), la *stolzita* (tungstato), la *vanadinita* (vanadiato), la *mendipita* (clorocarbonato), la *steinmanita,* la *boulangerita* y la *jamesonita.*

Minerales de titano

Se encuentra en pequeña cantidad, si bien bastante repartido, enclavado en los minerales de hierros, bauxitas, calizas, rocas eruptivas, etc., constituyendo el *rutilo,* el *anatasio* y la *brookita,* que son óxidos; el *esfeno* y la *titanita,* que son silicotitanatos de calcio; unido al hierro en el *hierro titanado,* al circonio y al itrio en la *polimignita* y al niobio en la *schimita,* la *euxenita* y la *piroclora.*

El *rutilo* (TiO_2), mal considerado por algunos como ácido titánico, tiene aspecto diamantino y color rojo pardo, formando cristales aciculares rojos, prismáticos, de cuatro á ocho caras, terminados por pirámides.

El *hierro titanado, ó ilmenita,* tiene brillo metálico y es de color negro de hierro, encontrándose en grandes masas en el Canadá, y en menor proporción en Noruega y en los Estados Unidos.

Minerales de tungsteno

Son muy pocos y escasos los minerales de tungsteno.

El *wolfram* $WO_4(MnFe)$, es un tungstato doble de hierro y manganeso con hasta 60 por 100 de tungsteno, que se encuentra, generalmente, acompañando al estaño en sus filones ó aluviones, en Cornuailles, Sajonia y Bohemia.

También lo hay en España y Portugal.

Se presenta ya en cristales, ya en masas de color negro y brillo metálico, brillante ó empañado.

Pueden citarse como variedades suyas la *hubnerita,* casi exenta de hierro, la *ferberita,* casi exenta de manganeso, y la *reinita.*

La *scheelita, ó chelita* (WO_4Ca), es un tungstato cálcico con 63 por 100 de tungsteno que se encuentra en cristales ó masas compactas de brillo vítreo, casi diamantino, y color blanco amarillento.

Suele yacer en forma de nódulos en los filones de cuarzo y en terrenos de aluvión; la *cuproscheelita* es una variedad

de ella, en la que parte de la cal ha sido reemplazada por el cobre.

Por fin, citaremos la *scheelitina,* ó *chelitina*, que es un tungstato de plomo menos importante y más escaso que los anteriores. Á veces se la denomina *stolzita*. Se presenta en pequeñísimos cristales octaédricos reunidos en formas alargadas, de color muy variable, pues se han encontrado ejemplares amarillentos, parduzcos y hasta á veces rojos.

Indicaremos, además, que la *scheelita* es más solicitada que el *wolfram,* y que la presencia de la sílice deprecia al mineral.

Minerales de urano

Son pocos los minerales en que se encuentra y siempre en escasa escala. Los de más importancia son la *plecbenda* ó *uranina* ú óxido uranosouránico, que se encuentra en Sajonia, Noruega y en Bohemia junto con los minerales de cobalto, níquel, plomo argentífero y piritas, en masas de color negro, de brillo resinoso; la *uranita,* ó *antunita* ($P_6O_{60}Ur_{12}Ca_3H_{48}$), que es un fosfato uránico cálcico cuyos cristales rómbicos se agrupan en hojas con apariencia cuadrática y tienen aspecto nacarado, de color amarillo de limón ó amarillo verdoso, y la *torbernita* ($P_6O_{60}Ur_{12}Cu_3H_{48}$), que es un fosfato de urano y cobre cuyos cristales, de color esmeralda y á veces amarillento, tienen la forma de prismas rectos de base cuadrada.

También existe el urano en la liebigita, uranocre, johannita, uranocalcita, uranopinita, calcolita, samarskita y euxenita; pero todos estos minerales son raros.

Minerales de vanadio

El principal de todos ellos es la *vanadinita* ó mena parda de plomo ($Cl_2Pb+3V_2O_3Pb_3$), que por su composición se ve que es un clorovanadato de plomo, que contiene casi 20 por 100 de óxido de urano. Está constituído por

cristales de estructura compacta, brillo vítreo regularmente intenso, y color pardo achocalatado y, á veces, violados, dorados ó de matiz amarillo más ó menos acentuado. Se encuentra en Méjico, en unos minerales de cobre de Mansfeld, en la cerita de Bastuas, en el rutilo, y en algunas arcillas.

Minerales de zinc

(Véase minerales de cinc.)

APÉNDICE II

COMPOSICIÓN Y PROPIEDADES DE LOS PRINCIPALES MINERALES

Abreviaciones empleadas en este cuadro

am., amarillo.
am., amoníaco.
aq., agua.
az., azul.
bl., blanco.
clino., clinorrómbico
cuadrát., cuadrático.
cv., colores varios.
dif., difícilmente.
fus., fusible.
fus. C., fusible sobre el carbón.
gel., gelatinoso.
i., incoloro.
inf., infusible.
ins., insoluble.
n., negro.
nitr., ácido nítrico.
o., opaco.
orto., ortorrómbico.
p., pardo.
r., rojo.
s., soluble.
sulf., ácido sulfúrico
tl., translúcido.
tp., transparente.
triclín., triclínico.
v., véase.
vd., verde.
vol., volátil.
vt., violeta.
BD, brillo diamantino
BM, brillo metálico.
BN, brillo nacarado.
BR, brillo resinoso.
BV, brillo vítreo.

NOMBRE	Composición química	Caracteres exteriores	Densidad	Dureza (1)	Fusibilidad (2)	Solubilidad	Sistema cristalino
Acantita	SAg_2	BM, bl.n.	7'2-7'3	2'5	2'5	s. nítr.	orto.
Acerdesa	Mn_2O_3,1aq	gris n.	4'2-4'4	3'5-4	inf.	s.	orto.
Acroita	(v. Turmalina)						
Actinoto	anfíbol SiO_2,(Mg,Ca,Fe)O	vd. oliva, vd.n.	2'8-3'3	5-5'5	4	ins.	clino.
Adamina	$3(As_2O_5,OZn),(HO)_2Zn$	tp, am, r, cv.	4'3	3'5	2'5	s.	orto.
Adularia (Ortosa)	$6SiO_2,As_2O_3,OK_2$	BV. tp, i, vd.	2'55	6	5	ins.	clino.
Agata	SiO_2	calcedonia coloreada en zonas.	2'5-2'8	7	inf.	ins.	amorfo
Alabandina	SMn	n. de hierro	3'9-4'04	3'5-4	4'5	s.	cúbico
Alabastro	caliza ó yeso	colores varios					

(1) Véase la escala de Moss. (2) Véase la escala de fusibilidad.

NOMBRE	Composición química	Caracteres exteriores	Densidad	Dureza	Fusibilidad	Solubilidad	Sistema cristalino
Albita	$6SiO_2,Al_2O_3,ONa_2$	BV, i, r, am.	2'5-2'6	6-6'5	4	ins.	triclín.
Almandino (Granate) .	$3SiO_2,Al_2O_3,3OFe$	tp, tl, r, p.	3'5-4'3	7-7'5	3	dif. s.	cúbico
Alofano	arcilla $Al_2O_3,SiO_2,5aq$	bl.amarillento, vd, r, colores varios	1'8-2	—	inf.	dif. s. gel.	amorfo
Alquifuz	(v. Galena)						
Alstonita	CO_3Ba,CO_3Ca	BV, i, bl.	3'6-3'7	4'5	inf.	s.	orto.
Alumbre	$(SO_4)_3Al_2,SO_4K_2,24aq$	tp, i.	1'75	2	1	s.aq.	cúbico
Alunita	$(SO_4)_3Al_2,SO_4K_2,2(HO)_6Al_2$	i, gris, am.	2'58-2'7	3'5-4	inf.	s.	rómbico
Amalgama	Hg_2Ag_2	BM, gris	1'37-1'4	3-3'5	Hg. vol.	s. nítr.	cúbico
Amatista	cuarzo SiO_2	tp, vt.	2'5-2'8	7	inf.	ins.	rómbico
Ambar	(v. Succino)						
Amianto	tremolita hidratada	i, am. verdoso	2'9-3'2		inf.	ins.	fibroso
Anabergita (Niquelocre)	$As_2O_5,3NiO,8aq$	verde	3-3'2	2-2'5	3	s.	clino.
Analcimo (Ceolito) . .	$2SiO_2,Al_2O_3,O(Na_2,Ca),1aq$	BV, i, bl, rosa	2'2-2'9	5'5	2'5	s. gel.	cúbico
Anatasio	TiO_2	BD, az, n, am.	3'8-3'9	5'5-6	inf.	ins.	cuadrát.
Andalusita	SiO_2,Al_2O_3	BV, r, cv.	3'1-3'2	7'5	inf.	ins.	orto.
Andesina	$4SiO_2,Al_2O_3,CaO,Na_2O$	BV, i, am, cv.	2'65-2'74	5-6	4	dif. s.	triclín.
Anfibol.	$9SiO_2,8(Ca,Fe,Mg)O$ (v. tremolita, actinoto, hornblenda.)						
Anfigeno (Leucita) . .	$4SiO_2,Al_2O_3,K_2O$	BV, bl, gris	2'45-2'5	5'5-6	inf.	s.	cúbico
Anglesita	SO_4Pb	tp, tl, i, bl.	6'2-6'3	3	3	ins.	orto.
Anhidrita (Karstenita) .	SO_4Ca	tp, tl, bl, gris	2'9-3	3-3'5	3'5	s.	orto.
Anortita	$2SiO_2,Al_2O_3,CaO$	BV, tl, i.	2'7-2'75	6	3	s.	triclín.
Antimonio nativo . . .	Sb	BM, bl. de estaño	6'6-6'8	3-3'5	fus. C.	s.	rómbico
Antimonio oxidado . .	(v. Senarmontita)						
Antimonio sulfurado. .	(v. Estibina)						
Antracita.	90 á 95 % de C.	n, fract. conchoidal	1'4-1'7	2-2'5	arde	ins.	amorfo

NOMBRE	Composición química	Caracteres exteriores	Densidad	Dureza	Fusibilidad	Solubilidad	Sistema cristalino
Apatito	P_3O_{12},Fl,Cl,Ca,—	BV,tp,i,bl,vd,az,am	2'9-3'2	4-5	5	s.	exagonal
Apofilita	$2SiO_2$,O(Ca,K_2),FlK,5aq	BV, i, bl, am.	2'3-2'4	4'5-5	2'5	s. gel.	cuadrát.
Aragonito	CO_3Ca	BV, tp, i, bl, am.	2'9-3	3'5-4	inf.	s.	orto.
Arcilla (v. Haloisita, alofano, Kaolin, Pirofilita)	Al_2O_3(25-40 %),SiO_2(25-65 %) aq(10-30 %)						
Argiritrosa	S_3Sb_2,$3SAg_2$	BD, r. obscuro, gris	5'7-5'8	2-2'5	2'5	s. nítr.	rómbico
Argirodita	S_2Ge,$3SAg_2$	gris met.	6'08-6'11	2'5	fus. C.	s. nítr.	triclín.
Argirosa (Argentita) .	SAg_2	BM, gris de plomo	7-7'4	2-2'5	fus. C.	s. nítr.	cúbico
Arsénico nativo . . .	As	BM. bl. estaño, gris	5'7-5'9	3'5	2 vol.	s. nítr.	rómbico
Arsénico sulfurado . .	(v. Rejalgar, Oropimente)						
Arsenolita	As_2O_3	tl, am, i	3'7	3	volátil	s.	cúbico
Asfalto.	75-80 % de C	pardo, negro	1'2-1'5	1-2	100° arde	ins.	amorfo
Atacamita	Cl_2Cu,3CuO,3aq	BV, vd.	3'6-3'7	3-3'5	fus. C.	s.	orto.
Augita (Piróxeno) . .	$2SiO_2$,O(Ca,Fe,Mg)+ +SiO_2,Al_2O_3,MgO	opaco, verde negro	3'3-3'4	6'5-7	3'5	ins.	clino.
Axinita	Silicoborato de Ca,Al,Fe	tp, tl, i, pardo rojo	3'3	6'5-7	2	ins.	triclín.
Azabache.	variedad de lignito compac.						
Azufre.	S	BD, tp, am, gris, p.	1'9-2'1	1'5-2'5	arde	s. (S_2C)	orto.
Azurita	$2CO_3Cu$,$Cu(OH)_2$	azul de Prusia	3'6-3'8	3'5-4	2	s.	clino.
Baritina	SO_4Ba	BV, tp, bl, am. pardo	4'48-4'72	3-3'5	5	ins.	orto.
Bauxita	$(Al,Fe)_2O_3$,4aq	bl. agrisado, rojo	3'5-4	—	inf.	dif.	amorfo
Berilo	(v. Esmeralda)						
Betún	(v. Asfalto)						
Biotita (Mica)	SiO_2,$(Al^2/_3K_2)O$,2(Mg,Fe)O	negro, pardo, verde	2'8-3'2	2'5-3	5	s. sulf.	clino.
Bismutina.	S_3Bi_2	gris de plomo	6'5	2-2'5	1	s.	orto.
Bismuto nativo. . . .	Bi	BM, bl. de plata	9'73	2-2'5	1	s. nítr.	rómbico
Blenda.	SZn	BD, tp, p, am. de miel, vd.	3'9-4'2	3'5-4	5-6	s.	cúbico

NOMBRE	Composición química	Caracteres exteriores	Densidad	Dureza	Fusibilidad	Solubilidad	Sistema cristalino
Bolo.	arcilla muy ferruginosa	pardo, am.	1'6-2'2	1-2	inf.	ins.	amorfo
Boracita	$B_{16}O_{30}Mg_6,Cl_2Mg$	BV, i, bl, gris, am.	2'9	7	3	s.	cúbico
Bórax	$B_4O_7Na_2,10aq$	BV, bl, gris, am.	1'7	2-2'5	2	s. aq.	clino.
Bort.	diamante en bolas						
Boulangerita	$3SPb,S_3Sb_2$	BM, gris de plomo	5'8-6	2'5-3	fus. C.	s. nitr.	orto.
Braunita	Mn_2O_3	negro, pardo	4'7-4'8	6'5	inf.	s.	cuadrát.
Broncita (Piroxeno) . .	variedad de enstatita	reflejos bronceados	3'1-3'25	5-6	6	ins.	orto.
Brookita	TiO_2	pardo am, pardo r.	4-4'13	5'5-6	inf.	ins.	orto.
Brucita.	$Mg(OH)_2$	BV, tp, bl.	2'3	1'5-2	inf.	s.	exagonal
Burnanita	$S_3SbPbCu$	BM, gris de acero	5'7-5'87	2'5-3	fus. C.	s. nítr.	orto.
Cabasio	$5SiO_2,Al_2O_3,O(Ca,Na_2,K_2)7aq$	BV, i, bl, rojo	2-2'17	4'5	3	s. gel.	rómbico
Calamina.	$SiO_2,2ZnO,1aq$	BV, i, gris, am, p.	3'35-3'5	5	6	s. gel.	orto.
Calamita	Fe_3O_4	negro met.	5-5'2	5'5-6'5	6	s.	cúbico
Calcedonia	SiO_2 cuarzo y sílice amorfo	tl, colores varios	2-2'5	7	inf.	ins.	amorfo.
Calcita.	CO_3Ca	BV, tp, i, am, cv.	2'6-2'8	3	inf.	s.	rómbico
Cal carbonatada . . .	(v. Calcita, Aragonita)						
Cal fluorada.	(v. Fluorina)						
Cal fosfatada	(v. Apatita)						
Cal sulfatada	(v. Yeso)						
Calcolita	$P_2O_{12}CuU_4,8aq$	BN, verde	3'4-3'6	2-2'5	2	s. nítr.	cuadrát.
Calcopirita (Pirita de cobre)	$S_2CuFe.$	BM, am. de oro	4'1-4'3	3'5-4	fus. C.	s. nítr.	cuadrát.
Calcosina.	SCu_2	negro de hierro, az.	5'5-5'8	2'5-3	2	s. nítr.	orto.
Camoisita.	Silic. de hierro y alúmina	vd, gris	3-3'4	3	2'5	s. gel.	amorfo
Carbonado	diamante negro						
Carnalita.	$Cl_2Mg,ClK,6aq$	BV, tp, i, rojizo	1'6	1	1'5	s. aq.	orto.
Casiterita.	SnO_2	BD, pardo, negro	7	6-7	inf.	ins.	cuadrát.
Celestina	SO_4Sr	BV, bl, az.	3'95	3-3'5	4	ins.	orto.

NOMBRE	Composición química	Caracteres exteriores	Densidad	Dureza	Fusibilidad	Solubilidad	Sistema cristalino
Ceolito.	(v. Mesotipo, Analcimo, Cristianita, Apofilita, Cabasio, Estilbita, Heulandita, Laumonita, Prenita, Armotomo).						
Cerargiro (Cerargirita)	Plata córnea; ClAg	BR, gris	5'6	1-1'5	1	s. am.	cúbico
Cerita (Cererita) . . .	$SiO_4(Ce,La,Di)_2,1aq$	BV, BR, p, rojo	4'9-5	5'5	inf.	s. gel.	orto.
Cerusita	CO_3Pb	BD, BR, i, bl. am.	6'3	3'5	2	s. nítr.	orto.
Chesilita	(v. Azurita)						
Chiastolita (Macla) . .	variedad de andalusita	negro					
Cianosa	$SO_4Cu,5aq$	BV, tl, bl.	2'2-2'3	2'5	1	s. aq.	triclín.
Cinabrio	SHg	BD, rojo cochinilla	8-8'2	2-2'5	vol.	s. aq. reg.	rómbico
Cinc carbonatado . . .	(v. Smithsonita)						
Cinc oxidado.	(v. Cincita)						
Cinc silicatado	(v. Calamina)						
Cinc sulfurado	(v. Blenda)						
Clinocloro (clorita) . .	$3SiO_2,Al_2O_3,6MgO,6aq$	tp, vd.	2'65-2'78	1'5-3	5	ins.	clino.
Cloantita	As_2Ni	gris con manchas vd.	6'4-6'5	5'5-6	fus. C.	s. nítr.	cúbico
Clorita.	(v. Penina, Clinocloro, Ripidolita)						
Cobalto arsenical. . .	(v. Esmaltina)						
Cobalto gris.	(v. Cobaltina)						
Cobaltina.	SAsCo	BM, bl. de plata, gris	6-6'3	5'5	fus. C.	s. nítr.	cúbico
Cobre nativo	Cu	BM, rojo	8'5-8'9	2'5-3	2'5	s. nítr.	cúbico
Cobre gris	(v. Panabasa)						
Cobre arsenical . . .	(v. Tenanita)						
Cobre abigarrado. . .	(v. Filipsita)						
Cobre piritoso	(v. Calcopirita)						

NOMBRE	Composición química	Caracteres exteriores	Densidad	Dureza	Fusibilidad	Solubilidad	Sistema cristalino
Cobre carbonatado . .	(v. Azurita, Malaquita)						
Cobre oxidulado . . .	(v. Cuprita)						
Cordierita (dicroita). .	$8SiO_2,3(Al_2,Fe_2)O_3,3MgO$	BV, colores varios	2'6-2'7	7-7'5	5	ins.	orto.
Corindón	Al_2O_3	BN, BV, i, az. vd, r.	3'9-4'08	9	inf.	ins.	rómbico
Covelina	SCu	az. índigo	4'6	1'5-2	inf.	s. nítr.	exagonal
Creta (Creta de Briançon, Talco).	CO_3Ca	—	—	—	—	—	amorfo
Cristianita (Ceolito). .	$5SiO_2,Al_2O_3,(K_2,Ca)O5aq$	BV, i.	2'17-2'2	4'5	3	ins.	orto
Cromita (Hierro cromado)	Cr_2O_3,OFe	n. de hierro, p.	4'3-4'6	5'5	inf.	ins.	cúbico
Criolita	$Fl_6Al_2,6FlNa$	BV, tl, bl, am.	2'9-3	2'5	1	s. sulf.	triclín.
Cristal de roca	(v. Cuarzo)						
Crocoisa	CrO_4Pb	BV, BD, tp, rojo	5'9-6'1	2'5-3	3	s. nítr.	clino.
Cuarzo.	SiO_2	BV, tp, tl, i, am, vd, n. colores varios	2'5-2'8	7	inf.	ins.	rómbico
Cuprita	Cu_2O	BM, rojo obscuro	5'7-6	3'5-4	fus. C.	s.	cúbico
Datolita	$B_2O_3,2(CaO,SiO_2),1aq$	tp, tl, i, vd.	2'8-3	5-5'5	2	s.	clino.
Dialago (piroxeno) . .	$SiO_2,Al_2O_3,O(Ca,Fe,Mg)$	BN, gris, pardo	3'1-3'3	4	4	ins.	clino.
Dialoguita	CO^3Mn	BV, BN, rosa pálido	3'3-3'7	3'5-4'5	inf.	s.	rómbico
Diamante.	C	BD, tp, i, am, p, vd, r, az.	3'5-3'6	10	inf.	ins.	cúbico
Diaspro	$Al_2O_3,1aq$	gris, vd, am.	3'3-3'5	6'5-7	inf.	ins.	orto.
Diopsida	piróxeno $SiO_2,(Ca,Fe,Mg)O$	tp, tl, i, vd.	3'3	5-6	3-4	ins.	clino.
Dioptasio.	$SiO_2,CaO,1aq$	BV, vd.	3'27-3'35	5	inf.	s. gel.	rómbico
Dipiro	$9SiO_2,2Al_2O_3,3(Na_2,Ca)O$	BV, i, bl.	2'6-2'7	6	4	ins.	cuadrát.
Discrasio	$SbAg_2$	blanco de plata	9'4-10	3'5	inf.	s. nítr.	orto.
Disomoso.	SAsNi	BM, bl. de plata, g.	6-6'7	5'5	3	s. nítr.	cúbico
Disteno (Cianita) . . .	SiO_2,Al_2O_3	BN, i, bl, az.	3'6-3'7	5-6	inf.	ins.	triclín.

NOMBRE	Composición química	Caracteres exteriores	Densidad	Dureza	Fusibilidad	Solubilidad	Sistema cristalino
Dolomia	CO_3Ca,CO_3Mg	BV, i, bl, am, cv.	2'85-2'9	3'5-4	inf.	s.	rómbico
Dufrenoisita.	$S_8As_2,2SPb$	BM, gris, negro	5'5-5'7	3	fus. C.	s. nítr.	orto.
Eleolito	(v. Nefelina)						
Esmeralda	$6SiO_2,Al_2O_3,3GlO$	tp, vd, az. de alga marina, i, r, am. de berilio	2'65-2'7	7'5-8	5	ins.	exagonal
Esmeril	corindón mezclado con óxidos de hierro						
Enstatita	piróxeno $SiO_2,(MgCaFe)O$	BV, bl, am.	3'1	5'5	5	ins.	orto.
Epidoto	$6SiO_2,4CaO,3(Al,Fe)_2O_3,1aq$	vd, am, r, n.	3'3-3'45	6'5-7	4	ins.	clino.
Erubescita	(v. Filipsita)						
Escorodita	$As_2O_5,Fe_2O_3,4aq$	BV, vd. az.	3'1-3'5	3'5-4	2'5	s.	orto.
Esfeno (Titanita) . . .	SiO_2,TiO_2,CaO	BD, am, vd, r, cv.	3'3-3'7	5-5'5	5	s. sulf.	clino.
Esmaltina	$As_2(Co,Fe)$	BM, bl, gris	6'4-7'2	5'5-6	fus. C.	s. nítr.	cúbico
Espato fluor	(v. Fluorina)						
Espato de Islandia . . .	(v. Calcita)						
Espato pesado	(v. Baritina)						
Espesartina	granate $3SiO_2,Al_2O_3,3MnO$	am. rojizo, pardo	3'7-4'2	7-7'5	3	ins.	cúbico
Espinela	Al_2O_3,MgO	BV, r, rosa, am, vd, az, colores varios	3'5-4'9	8	inf.	ins.	cúbico
Estaño oxidado. . . .	(v. Casiterita)						
Estaño sulfurado . . .	(v. Estanina)						
Estaurótido (Piedra de cruz).	$6SiO_2,6Al_2O_3,3(Fe,Mg)O,1aq$	BV, rojo pardo	3'3-3'8	7-7'5	inf.	ins.	orto.
Estibina	S_3Sb_2	BM, gris de plomo	4'6-4'7	2	1	s.	orto.
Estilbita (Desmina) . .	$6SiO_2,Al_2O_3,CaO,6aq$	BV, bl.	2-2'2	3'5-4	4	s. gel.	orto.
Estroncianita	CO_3Sr	BV, bl, am.	3'7	3'5	5	s.	orto.
Farmacolita.	$As_2O_8H_2,2CaO,5aq$	BV, bl, gris, rosa	2'6-2'7	2-2'5	3	s. nítr.	clino.
Farmacosiderita . . .	$2As_2O_5,3Fe_2O_3,12aq$	BD, vd. parduzco	2'9-3	2'5	fus. C.	s. nítr.	cúbico

NOMBRE	Composición química	Caracteres exteriores	Densidad	Dureza	Fusibilidad	Solubilidad	Sistema cristalino
Feldespato	(v. Ortosa, Albita, Oligoclasa, Anortita, Andesina)						
Fenacito	$SiO_2,Al_2O_3,2GlO$	BV, i, am, rojo	2'9-3	7-8	inf.	ins.	rómbico
Filipsita (ceolito)	(Cristianita)						
Filipsita (Cobre abigarrado, Erubecita, Bornita)	$SCu_2,S(CuFe)$	BM, r. de bronze, p.	4'9-5'1	3	fus. C.	s. nítr.	cúbico
Flogopito	mica magnésica	vd, rojo pardo	2'8-2'85	2-3	5	dif. s. sulf.	clino.
Fluorina	Fl_2Ca	BV, bl, am, vd, az.	3'18	4	3	s. sulf.	cúbico
Fosgenita (Plomo córn.)	Cl_2Pb,CO_3Pb	BD, am.	6-6'3	2'75-3	2	s. nítr.	cuadrát.
Franklinita	$(Fe,Mn)_2O_3,(Fe,Zn,Mn,)O$	BM, negro de hierro	5'6-6	5'5-6'5	inf.	ins.	cúbico
Galena	SPb	BM, gris de plomo	7'4-7'6	2'5-2'7	fus. C.	s. nítr.	cúbico
Garnierita	$SiO_2,MgO,1aq+NiO$	vd.	2-2'5	2	inf.	ins.	amorfo
Giobertita	CO_3Mg	BV, i, am, pardo	3-3'15	4'5-5	inf.	s.	rómbico
Glaisa	arcilla impura	pardo, am.	—	—	—	—	—
Glaucodoto	$SAs(Fe,Co)$	BM, bl. de estaño	5'9-6	5	fus. C.	s. nítr.	orto.
Gœthita	$Fe_2O_3,1aq$	BD, am, r, p. n.	4-4'4	5-5'5	inf.	s.	orto.
Grafito	C	negro de hierro	1'9-2'3	0'5-1	inf. arde	ins.	rómbico ó clino
Granate	(v. Grosulario, Piropo, Almandino, Espesartina Uwarovita, Idocrasio)						
Grosulario	granate $3SiO_2,Al_2O_3,3CaO$	tp, tl, bl. verdoso, vd, am, c. varios	3'4-3'6	6'5-7	3	dif. s.	cúbico
Haloisita	(arcilla) $2SiO_2,Al_2O_3,2aq+aq$	pardo, am, vd.	1'9-2'2	1'5-2'5	inf.	ins.	amorfo
Harmotomo	$5SiO_2,Al_2O_3,BaO,5aq$	BV, i, bl.	2'4-2'5	4'5	3'5	s.	clino.
Hausmanita	Mn_3O_4	BM, negro, pardo	4'7	5-5'5	inf.	s.	cuadrát.
Haüyne	$2[2SiO_2,Al_2O_3,(Na_2,Ca)O]+$ $+SO_4(Ca,Na_2,K_2)$	BV, az.	2'4-2'5	5'5	4	s. gel.	cúbico

NOMBRE	Composición química	Caracteres exteriores	Densidad	Dureza	Fusibilidad	Solubilidad	Sistema cristalino
Hematites parda	(v. Limonita)						
Hematites roja	Fe_2O_3 (oligisto compacto)	gris, rojo, negro	4'9-5	5	inf.	s.	amorfo
Heulandita	$6SiO_2,Al_2O_3,CaO,6aq$	BV, BN, i, bl, rojo	1'18-2'2	3'5-4	3	s.	clino.
Hierro arsenical	(v. Mispiquel)						
Hierro carbonatado	(v. Siderosa)						
Hierro cromado	(v. Cromita)						
Hierro especular	(v. Hematites)						
Hierro nativo	Fe	BM, negro gris	7'3-7'8	4'5	inf.	s.	cúbico
Hierro oxidado hidratado	(v. Limonita y Gœthita)						
Hierro oxidulado	(v. Magnetita)						
Hierro sulfurado	(v. Pirita, Marcasita)						
Hierro titanado	(v. Ilmenita)						
Hornblenda	$4SiO_2,CaO,3(Mg,Fe)O$	BV, n, vd. obscuro	3'1	5'5	3	dif. s.	clino.
Hulla	70-90 % de C	negro	1'25-1'35	2-2'5	inf. arde	ins.	amorfo
Idocrasio	$7SiO_2,2(Al,Fe)_2O_3,8(Ca,Mg)O,1aq$	BV, BR, am, vd.	3'35-3'45	6'5	3	ins.	cuadrát.
Ilmenita (Hierro titanado)	$(Fe,Ti)_2O_3$	BM, negro	4'4-5	5-6	inf.	dif. s.	rómbico
Iridio	Ir+Pt,Fe, etc.	BM, bl.	19'5-21	6-7	inf.	ins.	cúbico
Itrotantalita	tantalato de Y, Ce	pardo, negro	5'4-5'9	5'5	inf.	ins.	orto.
Jade (Nefrita)	tremolita compacta	bl. verdoso	3'2-3'4	6-6'5	4	ins.	amorfo
Jadeita	$2SiO_2,Al_2O_3,Na_2O$	bl. verdoso	3-3'4	6'5-7	2'5-3	ins.	amorfo
Jamesonita	$S_3Sb_2,2SPb$	BM, negro	5'5-5'7	2-3	vol.	s.	orto.
Jaspe	SiO_2 (sílex impuro)						
Kaolín	$SiO_2,Al_2O_3,1aq$ (arcilla)	bl. am.	2'2-2'5	1	inf.	s. sulf. cal.	amorfo
Karstenita	(v. Anhidrita)						
Kermes (Kermesita)	$2S_3Sb_2,Sb_2O_3$	rojo cereza	4'5-4'6	1-1'5	1-2	s.	clino.
Klaprotina (Lazulita)	$P_2O_5,Al_2O_3,(Mg,Fe,Ca)O$ 1aq	BV, az.	3-3'12	5-6	inf.	ins.	clino.

NOMBRE	Composición química	Caracteres exteriores	Densidad	Dureza	Fusibilidad	Solubilidad	Sistema cristalino
Labrador	$3SiO_2,Al_2O_3,(Ca,Na_2)O$	BV, bl, gris	2'7	6	3	dif. s.	triclín.
Lapizlázuli (Ultramar)	variedad de Haüyne	az.	2'4	6	4'5	s. gel.	amorfo
Laumonita	$4SiO_2,Al_2O_3,CaO,4aq$	BN, bl, gris	2'3-2'41	3'5	3	s. gel.	clino.
Lazulita	(v. Klaprotina)						
Lepidolita	mica litinífera	rosa	2'85	2'5-4	4'5	ins.	clino.
Leucita	(v. Anfígeno)						
Lignito	50-75 % de C.		0'7-1'3	1-2	arde	ins.	amorfo
Limonita (Hematites parda)	$2Fe_2O_3,3aq$	pardo, am.	3'5-4	5-5'5	inf.	s.	amorfo
Magnesita (Espuma de mar)	$3SiO_2,2MgO,2aq$	opaco, bl.	1'2-1'6	2'5	5	s.	amorfo
Magnetita (Piedraimán)	Fe_3O_4	negro de hierro	4'8-5'2	5'5-6'5	6	s.	cúbico
Malaquita	$CO_3Cu,Cu(OH)_2$	BV, vd. de hierba	3'7-4	3'5-4	fus. C.	s. aq. y amon.	clino.
Manganeso carbonatado	(v. Dialoguita)						
Manganeso oxidado	(v. Pirolusita, Braunita)						
Manganeso oxidado hidratado	(v. Acerdesa)						
Manganeso sulfurado	(v. Alabandino)						
Marcasita (Pirita blanca)	S_2Fe	BM, am. verdoso	4'6-4'8	6-6'5	3	s. nítr.	orto.
Mármol	calcita impura						
Martita	Fe_2O_3	negro de hierro	4'8	6-7	5	s.	cúbico
Melanita	granate $3SiO_2,Fe_2O_3,3CaO$	vd, am, p, n, cv.	3'6-4'3	7	3'5	s. gel.	cúbico
Melanterio	$SO_4Fe,7aq$	tp, vd.	1'8-2	2	1	s. aq.	clino.
Melita	$C_6(CO_2)_6Al_2,18aq$	bl, am.	1'5-1'6	2-2'5	arde	s. nítr.	cuadrát.
Mercurio sulfurado	(v. Cinabrio)						
Mercurio argental	(v. Amalgama)						
Mesotipo (Ceolito)	$3SiO_2,Al_2O_3,Na_2O,2aq$	BV, i, bl, gris	2'17-2'25	5-5'5	2	s.	orto.

NOMBRE	Composición química	Caracteres exteriores	Densidad	Dureza	Fusibilidad	Solubilidad	Sistema cristalino
Meyonita	$6SiO_2,3Al_2O_3,4CaO$	BV, i, bl.	2'73	6	3	s.	cuadrát.
Miargirita	S_3Sb_2,SAg_2	BM, gris de acero	5-5'4	2-2'5	fus. C.	s. nítr.	clino.
Mica	(v. Biotita, Flogopito, Muscovita, etc.)						
Microclino	$6SiO_2,Al_2O_3,(K_2,Na_2)O$	BV, i, vd.	2'54-2'58	6	5	ins.	triclín.
Millerita	SNi	BM, am. de oro	5'2-5'6	3-3'5	fus. C.	s. nítr.	rómbico
Mimetesio	$Cl_2Pb,9PbO,3As_2O_5$	BR, am, pardo	7'2-7'25	3'5-4	fus. C.	s. nítr.	exagonal
Mispiquel	SAsFe	BM, bl. de plata	6-6'4	5-5'6	fus. C.	s. nítr.	orto.
Molibdenita	S_2Mo	BM, g. de plomo, az.	4'6-4'8	1-1'5	inf.	dif. s. nitr.	exagonal? orto? clino?
Muscovita (Mica blanca)	$3SiO_2,3Al_2O_3,(K_2,Na_2)O,2aq$	bl, gris, am.	2'7-3'1	2'5-3	5'5-6	ins.	clino.
Natron	$CO_3Na_2,10aq$	tp, opaco, i, am.	1'42	1-1'5	1	s. aq.	clino.
Nefelina (Eleolito)	$2SiO_2,Al_2O_3,(Na,K)_2O$	BV, gris, i.	2'5-2'6	5'5-6	3'5-4	s. gel.	exagonal
Nefrita	tremolita compacta	blanco verdoso	3'2-3'4	6-6'5	4	ins.	amorfo
Níquel antimoniado	(v. Ullmanita)						
Níquel arseniatado	(v. Anabergita)						
Níquel arsenical	(v. Niquelina)						
Níquel arsenical blanco	(v. Cloantita)						
Niquelina	AsNi	BM, rojo de cobre	7'3-7'6	5-5'5	fus. C.	s. nítr.	exagonal
Nitro	NO_3K	BV, i, blanco gris	1'93	2	1'5	s. aq.	orto.
Obsidiana	variedad de ortosa						
Ocre amarillo	(v. Limonita)						
Ocre rojo	(v. Hematites)						
Oligisto	Fe_2O_3	BM, o, g, r.	4'9-5'3	5'5-6'5	inf.	s.	rómbico
Oligoclasa	$9SiO_2,Al_2O_3,2(Ca,Na_2)O$	BV, vd, cv.	2'65	6	4	ins.	triclín.
Olivino	variedad de peridoto						
Onice	(v. Agata)						

NOMBRE	Composición química	Caracteres exteriores	Densidad	Dureza	Fusibilidad	Solubilidad	Sistema cristalino
Opalo	SiO_2+aq	BV, bl, am, p, cv.	1'9-2'3	5'5-6'5	inf.	ins.	amorfo
Oro nativo	Au	BM, am.	15-19'4	2'5-3	4	s. aq. reg.	cúbico
Oropimente	S_3As_2	BM, am. de oro	3'4-3'5	1'5-2	3 vol.	s. aq. rég.	orto.
Ortosa	$6SiO_2,Al_2O_3,K_2O$	BV, i, bl, gris, rosa	2'53-2'59	6	5	ins.	clino.
Ozoquerita (parafina natural)	C_nH_{2n},C_nH_{2n+2}	vd, pardo, am.	0'84-0'97	1	60° arde	—	amorfo
Panabasa (Cobre gris antimonial)	$S_3Sb_2,4S(Ag,Cu)_2$	BM, gris	4'3-5'3	3'4	2'5	s. nítr.	cúbico
Parantina (Vernerita)	$2SiO_2,{}^2/_3Al_2O_3,(K_2,Ca,Na_2,Mg)O$	BV, c. v.	2'63-3	5-6	3	dif. s.	cuadrát.
Pecblenda	$U_5O_{12}Pb_4$	negro, pardo	8-9'7	5-6	inf.	s.	cúbico
Penina (clorita)	$4SiO_2,Al_2O_3,7MgO,5aq$	BV, vd. n.	2'6-2'78	1'5-3	inf.	dif. s.	clino.
Periclino	(v. Albita)						
Peridoto	$SiO_2,FeO,2MgO$	BV, vd. amarillento	3'2-3'5	6'5-7	inf.	s. gel.	orto.
Pinita	(cordierita alterada)	o, g, n, p.	2'7-2'9	2-3	4-5	dif. s.	amorfo
Pirita	S_2Fe	am. latón	4'9-5'2	6-6'5	3'5	s. nítr.	cúbico
Pirita arsenical	(v. Mispiquel)						
Pirita blanca	(v. Marcasita)						
Pirita de cobre	(v. Calcopirita)						
Pirita magnética	(v. Pirrotina)						
Pirocloro	niobato cálc.+FeCeMnTiW	BV, BR, am, pardo	5'2-5'3	5'5	inf.	ins.	cúbico
Pirofilita	arcilla $SiO_2,Al_2O_3,1aq$	bl, bl. verdoso, pardo	2'8	1-1'5	inf.	ins.	orto ó clino
Pirolusita	MnO_2	BM, o, n. de hierro	4'7-5	2-2'5	inf.	s.	orto.
Piromorfita	$3P_2O_5,9PbO,Cl_2Pb$	BV, BD, tl, vd. ó p.	6'6-7	3'5-4	2	s. nítr.	exagonal
Piropo	granate $3SiO_2,Al_2O_3,3MgO$	rojo	3'7-3'8	7-5	3'5	dif. s.	cúbico
Piróxeno	v. Diopsida, Dialago, Augita						
Pirrotina	SxFex	BM, am. rojizo	4'55-6'55	3'5-4'5	4	s.	exagonal
Plagioclasa	(v. Albita, Oligoclasa, Labrador, Anortita)						

NOMBRE	Composición química	Caracteres exteriores	Densidad	Dureza	Fusibilidad	Solubilidad	Sistema cristalino
Plata córnea.	(v. Cerargiro)						
Plata nativa.	Ag	BM, blanco gris	10-11	2'5-3	3	s. nítr.	cúbico
Plata negra.	(v. Polibasita, Saturosa)						
Plata roja.	(v. Proustita, Argiritrosa)						
Plata sulfurada . . .	(v. Argirosa, Acantita)						
Platino nativo	Pt+(Fe,Ir,Rh,Pd,Os)	BM, gris de acero	17-18	4'5-5	inf.	s. aq. rég.	cúbico
Plombagina	(v. Grafito)						
Plomo amarillo. . . .	(v. Vulfenita)						
Plomo blanco ó carbonatado	(v. Cerusita)						
Plomo córneo	(v. Fosgenita)						
Plomo cromatado. . .	(v. Crocoisa)						
Plomo sulfatado . . .	(v. Anglesita)						
Plomo sulfurado . . .	(v. Galena)						
Plomo sulfurado y antimoniado	(v. Burnonita, Boulangerita)						
Plomogoma	$P_2O_5,3PbO,6(Al_2O_3,3aq)$	BR, am. pardo, vd.	5-6'4	4'5	inf.	s. nítr.	amorfo
Polibasita.	$S_3(Sb,As)_2.9S(Ag,Cu)_2$	BM, negro	6-6'2	2-2'5	3	s. nítr.	orto.
Polihalita.	$SO_4Mg,SO_4K_2,2SO_4Ca2aq$.	i, pardo, rojo	2'75	2'7-3	3	s. aq.	orto ó clino
Prenita.	$3SiO_2,Al_2O_3,2CaO,1aq$	BV, vd.	2'8-2'95	6-7	2	s. gel.	orto.
Proustita (Plata roja arsenical).	$S_3As_2,3SAg_2$	BD, tp, rojo	5'5-5'6	2-2'5	fus. C.	s. nítr.	rómbico
Rejalgar	SAs	rojo	3'4-3'6	1'5-2	vol.	s. álcalis	clino.
Ripidolita (Clorita) . .	$3SiO_2,Al_2O_3,5(Fe,Mg)O,5aq$	verde oliva	2'8-2'96	1-1'5	4'5	s.	clino.
Rodonita	SiO_2,MnO	BV, tp, tl, rosa	3'6	5'5-6	2'5	dif. s.	triclín.
Rubelita	turmalina roja ó rosa						
Rubís	corindón rosa						
Rutilo	TiO_2	BD, pardo rojo, r. n.	4'27	6-6'5	inf.	ins.	cuadrát.

NOMBRE	Composición química	Caracteres exteriores	Densidad	Dureza	Fusibilidad	Solubilidad	Sistema cristalino
Sal gema	$ClNa$	tp, i, gris, rojo	2'1-2'2	2	decrepita	s. aq.	cúbico
Salmiaco	$Cl(NH_4)$	tp, bl, am, gris	1'52	1'5-2	vol.	s. aq.	cúbico
Salitre	NO_3K	i, bl, gris	1'92	2	1'5	s. aq.	orto.
Sasolina	BO_3H_3	tp, i	1'48	1	2	s. aq.	triclín.
Saturosa (Estefanita). .	$S_3Sb_2,5SAg_2$	BM, negro	6'2-6'3	2-2'5	2'5	s. nítr.	orto.
Scheelita	WO_4Ca	BD, BV, bl, am.	5'9-6	4'5-5	5	s. nítr.	cuadrát.
Senarmontita.	Sb_2O_3	BR, tl, bl, gris	5'2-5'3	2'5-3	2'5	s.	cúbico
Serpentina	$2SiO_2,3MgO,2aq$	BR, bl, am, vd.	2'5-2'6	3	5	s.	rómbico
Siderosa.	CO_3Fe	BV, rubio, bl. r. am., p. pardo, am, negro	3'8	3'5-4'5	4	s.	amorfo
Sílex.	Cuarzo impuro						
Silomelano	$MnO_2,BaO+MnO,K_2O+1aq$	negro de hierro, az.	3'7-4'5	5-6	inf.	s.	amorfo
Silvanita	$Te_2(Au,Ag)$	BM, bl, gris de acero	8-9	1'5-2	fus. C.	s. nítr.	clino.
Silvina.	ClK	tp, i, gris, am.	1'9-2	2	2	s. aq.	cúbico
Smithsonita	CO_3Zn	i, bl, am, gris	4'3-4'45	5	inf.	s.	rómbico
Succino (Ambar) . . .	resina	tp, am, pardo	1'06-1'1	2-2'5	arde	ins.	amorfo
Talco.	$4SiO_2,3MgO,1aq$	BN, bl, az, vd, gris	2'6-2'8	1-1'5	5	dif. s.	orto.
Teluro	Te	BM, bl. de estaño	6'1-6'3	2-2'5	2	s. nítr.	rómbico
Tenantita (Cobre gris arsenical)	$S_3As_2,4SCu_2$	BM, gris negro	4'5-4'9	4	fus. C.	s. nítr.	cúbico
Tetradimita	$STeBi_2$	BM, bl, gris	7'4-7'6	1'5-2	fus. C.	s. nítr.	rómbico
Tetraedrita	(v. Panabasa)						
Titanita.	(v. Esfeno)						
Topacio.	$Fl_4Si,Fl_6Al_2,5(SiO_2,Al_2O_3)$	BV, am, am. rojizo	3'5-3'6	8	inf.	ins.	orto.
Tremolita.	$4SiO_2,CaO,3(Mg,Fe)O$	BV, i, bl, vd.	2'9-3'2	5'5	3	ins.	clino.
Tridimita	SiO_2	BV, blanco	2'2	6'5	inf.	ins.	exagonal
Trifano (Espodumeno).	$4SiO_2,Al_2O_3,(Li,Na)_2O$	BV, bl. verdoso	3'1-3'2	6'5-7	3'5	ins.	clino.
Triplita.	$P_2O_5,Fl_2(Fe,Mn),3(Fe,Mn)O$	BR, pardo, negro	3'5-3'8	4-5'5	2'5	s.	orto.
Troostita	$SiO_2,2(Zn,Mn)O$	am, rojo, pardo	3'8-4'2	5'5-6	6	s. gel.	rómbico

NOMBRE	Composición química	Caracteres exteriores	Densidad	Dureza	Fusibilidad	Solubilidad	Sistema cristalino
Turmalina.	Silicoborato de Al+Fe,Mg,MnLi	BV, p, n, cv.	2'94-3'3	7-7'5	4-6	ins.	rómbico
Turquesa (Calaita). . .	$P_2O_5,2Al_2O_3,5aq$	azul, verde	2'65-2'8	6	inf.	s.	amorfo
Ulmanita	SSbNi	BM, negro	6'2-6'5	5-5'5	fus. C.	s. aq. rég.	cúbico
Ultramar	(v. Lapizlázuli)						
Uranita.	fosfato de urano y de cal	BN, am.	3-3'2	2-2'5	2'5	s.	orto.
Uvarovita.	granate $3SiO_2,Cr_2O_3,3CaO$	BV, vd.	3'4-3'51	7'5-8	inf.	ins.	cúbico
Valentinita (Exitelo). .	Sb_2O_3	am, vd.	3'7	2'5-3	fus. C.	s. nítr.	orto.
Vivianita	$P_2O_5,3FeO,8aq$	tp, az.	2'55-2'68	1'5-2	2	s.	clino.
Wad.	óxidos de manganeso impuros	negro	3-4'25	0'5-6	inf.	s.	amorfo
Wagnerita.	$P_2O_5,Fl_2Mg,3MgO$	BV, bl.	3'1-3'9	5'5	inf.	s. nítr.	clino.
Wavelita	$2P_2O_5,3Al_2O_3,12aq$	BV, bl, am, vd.	2'3-2'4	3'25-4	inf.	s.	orto.
Wernerita	(v. Meyonita, Parantina, Dipiro)						
Willemita.	$SiO_2,2ZnO$	BV, i, am, pardo	3'9-4'2	5'5	5	s. gel.	rómbico
Witerita	CO_3Ba	BV, BR, bl, gris, am.	4'2-4'3	3-3'5	2'5	s.	orto.
Wolfran.	$WO_4(Mn,Fe)$	BM, negro, pardo	7'1-7'55	5-5'5	2'5-3	dif. s.	clino.
Wollastonita.	SiO_2,OCa	BV, i, bl, gris	2'8-2'9	5	4'5	s. gel.	clino.
Wulfenita (Melinosa). .	MoO_3,PbO	BD, am. de miel, p.	6'5-7	2'5-3	2	s.	cuadrát.
Wurtzita	SZn	pardo negro	3'98	3'5-4	5-6	s.	exagonal
Yeso.	$SO_4Ca,2aq$	BV, tp. i, bl, amarillento, am.	2'3	2	4	dif. s. aq.	clino.
Zafiro.	corindón azul						
Zinc (v. Cinc).							
Zincita.	ZnO	BD, rojo anaranjado	5'5-5'7	4-4'5	inf.	s.	exagonal
Zinconita	$3CO_3Zn,5Zn(OH)_2$	gris, blanco	3'3-3'6	2-2'5	inf.	s.	amorfo
Zircón	SiO_2,ZnO_2	BV, BD, r, p, am, vd, cv.	4'5-4'7	7'5	inf.	ins.	cuadrát.
Zoisita.	$9SiO_2,4Al_2O_3,6CaO$	BV. vd, pardo	3'1-3'38	6	3'5	s. gel.	orto.

APÉNDICE III

ENSAYO DE LOS MINERALES

De nada servirían los trabajos de exploración con miras al descubrimiento de yacimientos de substancias minerales útiles, si no tuviéramos medios de ensayar, ya inmediatamente sobre el terreno, ya luego en el laboratorio, las muestras que hubiésemos descubierto y recogido en el campo. Por lo tanto, se impone el análisis de estas muestras, no sólo para saber la especie mineral á que pertenecen, sino también para determinar la relación entre la materia útil y la estéril, esto es, para determinar su riqueza.

El análisis de los minerales presupone el conocimiento exacto de las propiedades físicas y químicas de las especies mineralógicas más corrientes, para poder, en cuanto se hayan efectuado los distintos ensayos que se hayan creído pertinentes, hacer la oportuna comparación que nos ha de conducir á la identificación de la muestra ensayada con los tipos ya conocidos.

Los ensayos más corrientes á que se someten las muestras pueden repartirse en cuatro grupos, esto es:

1.° Inspección organoléptica.
2.° Ensayo mecánico.
3.° Ensayo físico.
4.° Ensayo químico.

ANÁLISIS CUALITATIVO Ó ENSAYO DE LOS MINERALES

El análisis cualitativo de los minerales se efectúa, generalmente, sobre el terreno y está fundado, principalmente, en ensayos de carácter físico, y también en unos pocos de carácter químico.

I. — DETERMINACIONES ORGANOLÉPTICAS

Son, naturalmente, las primeras que se efectúan, pues se refieren á las propiedades que afectan directamente á nuestros sentidos de la vista y del tacto; como son: la estructura, forma exterior, estado de agregación, color, olor, etc.

Color. — Es lo que primero salta á la vista de quien examina una muestra; pero ha de tenerse muy en cuenta de si el color es propio de toda la muestra ó sólo lo presenta superficialmente, ya prestado por contacto con otros cuerpos, ya procedente de la alteración superficial debida á los agentes atmosféricos ó terrestres.

Si se recorre la columna tercera de los estados comprendidos en el Apéndice II, se observa que el color de los minerales no sólo es variable de unas á otras especies, sino que también una misma especie los tiene á veces muy diferentes, debido por lo general á pequeñas impurezas contenidas en ellos. Así vemos que hay minerales incoloros, blancos, rojos de distintos matices, amarillos también de distintos matices, verdes, azules, negros, violetas, grises, etc., etc.

De todas maneras, á pesar de la inconstancia de este carácter, es propiedad muy de apreciar, porque nos inicia, nos encamina, en la senda que nos ha de conducir hasta la caracterización definitiva del mineral.

Brillo. — Compañera del color es la propiedad de algunos minerales de tener brillo propio, ó no poseerlo en absoluto. Por ello, después, ó mejor dicho, simultáneamente con el ensayo anterior, se observa si el mineral tiene el aspecto

mate, ó bien ofrece brillo diamantino, metálico, resinoso, nacarado, vítreo ó afectado de determinada coloración.

Estructura. — La estructura ó aspecto de la superficie es muy apreciable y también muy variada propiedad. Desde el aspecto francamente cristalino, más ó menos marcado, hasta el estado amorfo, hay una multitud de intermedios. De ellos citaremos el laminar, acicular, bacilar, fibroso, granujiento, térreo, concrecionado, micáceo, etc., cada uno de los cuales servirá para orientarnos ya algo más, dentro del grupo de minerales que poseen el brillo y color antes observados.

No olvidaremos tampoco de observar la transparencia más ó menos perfecta de la muestra, ya en conjunto, ya de alguno de sus cristales.

Porosidad, tacto, sabor y olor. — Son éstos una serie de ensayos que han de hacerse antes de emprender la pulverización de la muestra. El primero se lleva á cabo aplicando el mineral contra la lengua, y diremos que es poroso si se pega á ella.

El tacto se nota apretando suave ó fuertemente el pulgar y el índice por sobre la superficie del fragmento mineral, con lo cual sentiremos un contacto untuoso, graso, áspero, fino, frío, etc.

El sabor, que puede ser salado, dulce, picante, amargo, astringente, ácido, cáustico, etc., ya nos denuncia una substancia soluble. No debe tragarse la saliva que la degustación nos haya producido.

El olor puede ser espontáneo ó provocado. Poseen olor espontáneo muy pocos minerales, tales como el betún y petróleo; y otros, aunque no muchos, lo tienen si se provoca, ya echándoles el aliento ó mojándolos (arcillas), ya frotando dos fragmentos como algunos sulfuros (olor sulfuroso), arseniuros (olor de ajo), etc., ya por una fuerte percusión (como el sílex).

Fractura. — Al romper un fragmento de mineral en dos ó más trozos, la fractura se presenta con aspectos muy diversos y está, generalmente, en consonancia con la estructura ó aspecto exterior. Puede ser fibrosa, micácea, lami-

nar, granujienta, térrea, sacaroidea, compacta, conchoidea, astillosa, etc.

Polvo. — El polvo obtenido al pulverizar en el mortero una porción de la especie mineral, no de la ganga, tiene en muchas ocasiones color distinto del que es propio del mineral.

Para hacer este ensayo, á veces, es suficiente rascar con un cuchillo ó lámina de acero la superficie de la muestra, ó bien frotarlo contra un trozo de bizcocho de porcelana.

II. — Ensayo mecánico

El ensayo mecánico estriba, principalmente, en la determinación de la dureza. Esta dureza se refiere á la que poseen los diez tipos que constituyen la escala de Moss.

ESCALA DE MOSS

1.	Talco	Muy blandos; rayados por la uña.
2.	Yeso especular	
3.	Espato calizo	Blandos; rayados por el cuchillo.
4.	Espato fluor	
5.	Apatita cristalizada	Bastante duros; rayados por el acero.
6.	Ortosa	
7.	Cuarzo cristalino	Muy duros; rayan al vidrio, y producen chispas al golpearles con el pedernal.
8.	Topacio blanco	
9.	Corindón cristalino	
10.	Diamante	

Para efectuar este ensayo se principia probando si alguna de las caras mejor delineadas del mineral es rayada por la uña, un cuchillo ó el filo de una lima triangular, ó si rayan al vidrio. Tenemos así indicaciones suficientes para saber, aproximadamente, qué número de la escala de Moss les corresponde, y, por lo tanto, se abrevia mucho esta determinación.

No se crea, no obstante, que este ensayo, sencillísimo en sí, no requiera tomar ciertas precauciones. Ante todo, ha de escogerse una arista bien formada, y frotar fuerte con ella alguna superficie plana del mineral tipo de la escala,

cuidando de que no se rompa la arista. Luego se ha de limpiar la superficie frotada y observar si la pequeña cantidad de polvo producido pertenece realmente á esta superficie ó bien si corresponde á la arista ensayada; y después se frota una arista del mineral tipo contra una superficie de la muestra, pues hay minerales de igual dureza que pueden rayarse mutuamente.

Ha de tenerse también en cuenta el estado de agregación de la muestra ensayada y la dirección en que se hace la raya, pues hay direcciones de dureza máxima y direcciones de dureza mínima.

Otros ensayos mecánicos

También pertenecen á la categoría de ensayos mecánicos los que se refieren á la flexibilidad, ductilidad, elasticidad, clivaje, etc. Este último nos puede informar muy útilmente sobre el sistema cristalino á que pertenece el mineral.

III. — Ensayos físicos

Densidad

La densidad es, quizás, el principal de ellos. No describiremos aquí el modo de determinarla. El procedimiento más exacto es el llamado del frasco, pero se requiere una buena balanza; en cambio, los areómetros, aunque menos exactos, son más rápidos en el operar y no exigen balanza.

También han de tomarse precauciones. El fragmento de mineral no ha de contener ganga; ha de estar limpio de polvo ó barro, y han de desprenderse con un pincelito las burbujas de aire que suelen quedar adheridas al introducir una substancia sólida en el agua.

Si el mineral fuese soluble en el agua, ha de escogerse algún método en que el cuerpo no esté en contacto directo con dicho líquido.

Fusibilidad

La fusibilidad de los minerales, ó, mejor, la de todas las materias en general, se compara con la de las siguientes substancias que constituyen la escala de Kobell:

1.	Estibina . . .	Fácilmente	fusible á la llama de una bujía.
2.	Mesotipo . . .	Difícilmente	
3.	Granate . . .	Fácilmente	fusible al soplete.
4.	Actinoto . . .	No fácilmente	
5.	Ortosa. . . .	Difícilmente	
6.	Broncita . . .	Muy difícilmente . . .	
7.	Cuarzo . . .	Infusible.	

Este ensayo se efectúa rompiendo pequeños fragmentos de la muestra, y escogiendo de ellos los más delgados porque dan más francamente las indicaciones buscadas.

Estudio cristalográfico

Se efectúa por medición de los varios ángulos formados por las caras que constituyen el cristal de una determinada especie mineralógica. Esta medición se logra mediante los goniómetros, de los cuales hay de muy diversos tipos que pueden agruparse en dos grandes divisiones, ó sea goniómetros de aplicación y goniómetros de reflexión. Estos últimos son los más exactos.

Todos los cristales se pueden referir á siete tipos fundamentales, de los cuales pueden ser derivados:

Sistema cúbico. Sistema ortorrómbico.
Sistema cuadrático. Sistema rómbico.
Sistema exagonal. Sistema clinorrómbico.
Sistema triclínico.

Por ser una de las constantes físicas tiene su determinación suma importancia en la identificación de minerales.

Otros ensayos físicos

Lo son los que se refieren á las propiedades magnéticas y de solubilidad; á las propiedades ópticas y á las de fosforescencia, etc.

IV. — Análisis químico

El análisis químico de un mineral (1) comprende dos partes distintas. Una que puede considerarse preliminar, circunscrita á unos pocos y rápidos ensayos que tienen por objeto orientar al químico en sus investigaciones, y otra, que es la propiamente analítica, la que nos da á conocer de una manera exacta, precisa, la composición de la muestra cuyo análisis se había emprendido.

Ensayo preliminar

El análisis preliminar consta de varios ensayos, ejecutados con una pequeña porción de la muestra pulverizada. La primera, consiste en calentar un poco de polvo introducido en un tubo cerrado por un extremo y observar los cambios y fenómenos que este polvo sufre.

La substancia no cambia. — Ausencia de substancias orgánicas y de cuerpos fácilmente fusibles ó volátiles. Puede, sin embargo, desprenderse CO_2, para lo cual deberá tomarse la precaución de hacer borbotar los gases desprendidos por un poco de agua de cal.

La substancia era blanca y cambia de color. — Es prueba de la presencia, según cual sea el cambio del color, de alguno de los metales siguientes: cinc, estaño, manganeso, cadmio, bismuto, plomo.

La substancia era amarilla, azul, roja ó parda y cambia de color. — Es prueba de la presencia de alguno de los metales cromo, cobre, níquel, mercurio, plomo, hierro.

(1) En la imposibilidad material de poder incluir aquí el método detallado para lograr el análisis de un mineral, he de recomendar, á quien desee conocerlo, el procedimiento analítico del eminente profesor Remigio Fresenius, fundador del Instituto Fresenius, de Wiesbaden (Alemania), que conduce de una manera segura é infalible al fin deseado. De dicho procedimiento tengo hecha una traducción en la muy práctica y manejable forma de cuadros sinópticos, con D. Antonio Ferrán, catedrático de Análisis químico, de la Escuela de Ingenieros Industriales de Barcelona. — *Cuadros de análisis químico* según Remigio Fresenius, por A. Ferrán y J. Vidal, ingenieros. — Barcelona.

La substancia funde. — Nitrato, clorato ó substancias que contienen agua de cristalización.

La substancia decrepita. — Indica que contiene agua de interposición; algunos minerales anhidros también decrepitan.

La substancia, sin fundir, desprende agua que se condensa en la parte fría del tubo. — Hidrato ó sal que pierde el agua de cristalización; sal amoniacal, ó agua que humedecía la substancia.

La substancia se carboniza. — Presencia de materias orgánicas.

Al propio tiempo ensayaremos los gases desprendidos y observaremos el color del sublimado, si lo hay.

Gas incoloro. — Puede ser alguno de los siguientes: oxígeno, anhidrido carbónico, óxido de carbono, cianógeno, ácido cianhídrico, ácido sulfhídrico, amoníaco, anhidrido sulfuroso. Deberán, pues, hacerse los ensayos pertinentes, ya por el olor, ya por la llama, para saber cuál de ellos es.

Gas rojo. — Puede ser gas hiponítrico, anhidrido nitroso ó bromo.

Gas verde. — Cloro.

Gas violeta. — Yodo.

Por su parte, los sublimados que suelen obtenerse pueden ser:

Blanco. — Sales amoniacales, ácidos benzoico ó mercúrico, salicílico ú oxálico, cloruro de plomo, anhidrido arsenioso, óxido de antimonio.

Amarillo. — Cloruro mercurioso, yoduro mercúrico.

Amarillo rojizo, ó rojizo en gotitas. — Sulfuros de arsénico, azufre y otros sulfuros.

Negro. — Sulfuro de mercurio, yodo, yoduros, ácido yódico, arsénico.

Agrisado, en gotitas. — Mercurio.

El segundo ensayo de los preliminares consiste en calentar fuertemente, con la llama reductriz del soplete, un poco de polvo de la muestra, en una pequeña cavidad practicada en un trozo de carbón vegetal.

Queda residuo blanco. — Es indicio de base alcalinotérrea ó térrea.

Queda residuo metálico ó de color. — Metal pesado; arsénico, antimonio, etc.

No queda residuo ni mancha sobre el carbón. — Sal alcalina.

El tercero de los ensayos preliminares consiste en la obtención de perlas.

Las perlas con la sal de fósforo poseen los colores siguientes:

METALES	En caliente	En frío
Cobalto	azul	—
Cobre	verde	azul
Cromo	verde	verde
Bismuto	pardo amarillo	incoloro
Plata	amarillo claro	amarillo turbio
Hierro	rojo pardo	incoloro
Níquel	rojizo	am. rojizo ó incoloro
Manganeso	rojo amatista	rojo amatista
Antimonio, aluminio, potasio, sodio, litio, cinc, cadmio, plomo, calcio magnesio	incoloro	diáfano
Bario, estroncio	incoloro	esmalte
Acido silícico	incoloro	translúcido

Si el cuerpo no se ha disuelto, puede ser oro ó platino.

Después de estos ensayos se procede ya al análisis propiamente dicho, para lo cual es indispensable disolver la substancia.

Disolución de la substancia

La disolución de la substancia se obtiene mediante los disolventes agua, ácido clorhídrico, ácido nítrico ó ácido cloronítrico. Los cuerpos insolubles en ellos se han de desagregar, esto es, han de fundirse con carbonato sódico-potásico.

Para operar la disolución, se tratan primero por agua caliente.

Si es insoluble, ó si queda un residuo, se trata por ácido

clorhídrico; primero en frío y diluído, y luego, si resistiere, concentrado y caliente. Si así no se disuelve, ó si queda un residuo, se trata por ácido nítrico; y si aun así hubiese parte insoluble, se trata por ácido cloronítrico (tres partes de ClH y una parte de NO_3H), primero diluído y en frío, y luego concentrado y en caliente.

Si después de este ensayo no se hubiese logrado la completa disolución de la muestra, procederemos á desagregarla por fusión con cuatro veces su peso de una mezcla en partes iguales de carbonatos sódico y potásico.

En todas estas operaciones es necesario tener muy en cuenta los cambios de composición, y, principalmente, de oxidación, que hayan podido sufrir las muestras tratadas.

Análisis por vía húmeda

Consta de dos partes. En la primera, se determinan cuáles son los elementos que funcionan como bases en las especies minerales que constituyen la muestra. En la segunda, se procede á la determinación de los elementos ácidos.

Determinación de las bases

Tratamiento por el ácido clorhídrico (si la disolución se ha obtenido mediante el ácido clorhídrico, este ensayo se suprime). — Se toma un poco de la disolución y se le añade dos ó tres gotas de ácido clorhídrico diluído. Si se ha formado precipitado blanco, indica que hay plata, plomo ó mercurio, y entonces se toma toda la disolución y se trata de igual modo hasta que ya no precipite más.

- El precipitado se filtra y se lava dos veces con agua fría......
  - El precipitado se trata sobre el filtro con agua hirviente....
    - Si el líquido filtrado precipita en negro por el ácido sulfhídrico, es señal de la presencia del plomo.
    - El residuo trátase también sobre el filtro por amoníaco.....
      - Si el líquido amoniacal, fuertemente acidulado con ácido nítrico, da grumos ó enturbamiento blanco, es señal de presencia de plata.
      - Si el residuo queda negro, indica mercurio.
  - La disolución se trata como sigue:

Tratamiento por el ácido sulfhídrico

El líquido obtenido al filtrar el precipitado, ó bien el que no ha precipitado al añadir el ácido clorhídrico, ó bien la disolución clorhídrica obtenida al emprender la disolución de la muestra del mineral, se trata por una corriente de ácido sulfhídrico gaseoso, tomando la precaución de que el líquido no sea excesivamente concentrado y de que esté á una temperatura de unos 70°. Puede ocurrir uno de los siguientes tres casos:

1.° *Precipitado blanco puro.* — Es de S y puede indicar la presencia de una sal férrica;

2.° *Precipitado de color.* — Se trata por sulfuro amónico:

Se disuelve completamente....	Puede ser alguno de los elementos siguientes.............	Arsénico, antimonio, estaño, oro ó platino.
No se disuelve completamente.	La parte soluble puede ser alguno de los elementos siguientes.	
	La parte insoluble puede ser alguno de los elementos siguientes	Plomo, bismuto, cobre, cadmio, mercurio.

3.° *No precipita.* — Se continúa de la manera siguiente:

Tratamiento por el sulfuro amónico

El líquido que no ha precipitado al añadir el ácido sulfhídrico, ó el que se ha separado por filtración del precipitado que dicho reactivo ha producido, se observa si es ó no coloreado, se añade unas gotas de ácido nítrico, y se hace hervir, para eliminar el gas sulfhídrico que lo satura. Se añade luego un poco de amoníaco hasta reacción alcalina, y, haya ó no precipitado este reactivo, se añade sulfuro amónico. Si se obtiene precipitado, es señal evidente de alguno de uno ó varios de los metales siguientes: cobalto, níquel, hierro, manganeso, cinc, cromo y aluminio; debiendo observarse que los ensayos ahora necesarios para saber

cuáles de todos estos elementos son los que constituyen el mineral, son diferentes según que al añadir el amoníaco se hubiese formado ó no precipitado.

Tratamiento por el carbonato amónico

En el líquido obtenido al filtrar el precipitado de sulfuros, sólo quedan ahora los metales alcalino-térreos y los alcalinos. Su reconocimiento se funda en la acción de los carbonatos, para lo cual se añade á una pequeña porción del líquido filtrado un volumen igual al suyo de cloruro amónico, y luego carbonato amónico adicionado previamente de un poco de amoníaco. De esta manera, el cloruro amónico impide que se pueda precipitar el carbonato magnésico si hubiese presente alguna sal magnésica, y se precipitan, por lo tanto, al estado de carbonatos, los elementos bario, estroncio y calcio, cuya distinción mutua puede hacerse mediante los reactivos apropiados.

El reconocimiento del magnesio ha de hacerse en el líquido filtrado de estos carbonatos, á cuyo fin se añade fosfato amónico.

Investigación de los metales alcalinos

Pueden haber ahora sólo presentes, ya, los metales alcalinos potasio, sodio y litio, y el radical amonio. Su distinción se logra mediante el ácido cloroplatínico (cloruro de platino). Obsérvese, no obstante, que para el reconocimiento del amonio no podremos emplear este líquido, pues que en diferentes ocasiones se le han añadido sales amoniacales. Se hará el ensayo, por lo tanto, directamente sobre el líquido ó disolución primitiva, ensayo que consiste sencillamente en un tratamiento por cal sodada.

Determinación de los Ácidos

La determinación de los elementos que constituyen la función ácida de los minerales, nos viene muy simplificada

por los resultados obtenidos en el ensayo preliminar. Sólo toca ahora caracterizar algunos otros ácidos, para lo cual se echa mano de unos pocos reactivos, dos de los cuales, al igual que el ácido clorhídrico, el ácido sulfhídrico, el sulfuro amónico y el carbonato amónico en la investigación de las bases, nos los reúnen en grupos, y luego, por medio de los demás reactivos, se procede á diferenciar los ácidos dentro de cada uno de estos grupos. Estos reactivos de grupo para los elementos ácidos, son el cloruro bárico y el nitrato de plata.

Procedimiento analítico especial para los silicatos

El análisis completo de los silicatos, y muchos de los minerales lo son, requiere un tratamiento especial si se desea tener, al propio tiempo que conocimiento de las cantidades respectivas de cada uno de los elementos componentes, una noción exacta de la manera de estar agrupados estos elementos.

En la obra á que nos hemos referido en la nota de la página 467, uno de los cuadros sinópticos trata especialmente de esta clase de compuestos.

APÉNDICE IV

DATOS VARIOS

Medicamentos que ha de contener el botiquín

En el comercio se encuentran botiquines ya preparados que, bajo un pequeño volumen, comprenden los medicamentos más usuales y una guía para su aplicación. Entre éstos se procurará que no falten los siguientes:

Quinina.—Dosis: Como preventivo, 50 centigramos por día; como tónico, 10 centigramos en cada comida; para una fiebre fuerte, 1'5 gramos en cuatro dosis, una cada cuatro horas.

Subnitrato de bismuto. — Se administra en los casos de diarrea, á la dosis de 30 á 40 centigramos cada dos ó tres horas.

Amoníaco. — Se aplica exteriormente para la curación de las picadas y mordeduras. Para los síncopes se da á respirar.

Bórax ó ácido bórico. — Para la inflamación de la vista y para lavados antisépticos, se aplica en disolución, del 1 al 4 por 100.

Clorato potásico. — Para las afecciones de la garganta ó para el escorbuto, se aplica del 4 al 8 por 100.

Tintura de yodo. — Contra las inflamaciones de los órganos internos y externos, excepto de la parte más superficial de la piel.

Tintura de árnica. — Se aplica exteriormente en la curación de las contusiones; al mismo tiempo se ha de tonificar el sistema nervioso dando á beber 10 á 12 gotas diluídas en un vaso de agua.

Magnesia calcinada. — Para la acidez de estómago, á cucharaditas. Como purgante ligero tómense 10 gramos en medio vaso de agua.

Alcanfor. — Disuelto en alcohol, úsase en fricciones contra los dolores.

Cloruro férrico. — Contra las hemorragias, sólo ó disuelto en agua. Es mejor empezar disolviéndolo en tres ó cuatro partes de agua.

Ácido fénico. — Se disuelve al 2 ó 3 por 100, para lavar heridas.

Láudano líquido de Sydenam. — Utilísimo contra toda clase de dolores, contra las diarreas y como antídoto de la belladona y las solaciáceas en general (beleño, extraemonio, etc.). Se pueden tomar 5 gotas cada cuatro horas. Es un medicamento que no ha de faltar en ningún botiquín.

Algodón y vendas antisépticas; gasa al salol.

Tafetán inglés.

Filtro de bolsillo.

Remedios contra los envenenamientos

La primera providencia que ha de tomarse en cuanto un individuo presente síntomas de envenenamiento, es provocar la expulsión de cuánto contenga el estómago, por alguno de los medios corrientes con que se consigue este efecto, esto es, administración de vomitivos (1), excitación de la

(1) Se ha de ser muy parco en los vomitivos medicamentosos por ser muy inseguros, en general, en estos casos, sobre todo en envenenamientos que produzcan efectos deprimentes (setas, narcóticos, etc.), y están contraindicados en los envenenamientos por venenos corrosivos como son los ácidos y los álcalis, pues hay peligro de rotura del estómago.

Los mejores medios son el agua caliente con aceite y las titilaciones de la garganta, y, como medicamentoso, si fuera posible, casi el único recomendable, es una inyección de un centigramo de apomorfina disuelto en un centímetro cúbico de agua. Cuando no se trata de los casos dichos, se podrían usar los vomitivos vulgares que en cada país son conocidos.

Mejor aun que los vomitivos es el lavado del estómago, que podría hacerse con un simple tubo de goma que se metiera en el estómago por el esófago y se le hiciera ejercer de sifón; pero es difícil de usar para el que no lo haya visto emplear ni una sola vez.

campanilla, ingestión abundante de agua fría, caliente ó albuminosa, etc.

En segundo lugar, se administra algún purgante; y, por fin, si se conoce la substancia intoxicante, el antídoto correspondiente. Á continuación ponemos un cuadro de los principales de ellos.

Cuadro de los principales antídotos

VENENOS	CONTRAVENENOS
Ácidos	Magnesia, 200 gramos en cuatro porciones, agua de cal, creta ó polvo de mármol, cáscaras de huevo pulverizadas ó agua jabonosa abundante, claras de huevo, leche.
Álcalis	Ácidos diluídos, ácido acético (vinagre) en abundancia, aceites de todas clases.
Compuestos de antimonio . .	Tanino, decocción concentrada de nuez de agallas, de quina ó de corteza de encina.
Compuestos arsenicales . . .	Hidrato férrico dilatado en agua azucarada, dos á cuatro cucharadas por cuarto de hora, y luego magnesia en abundancia; mezcla de sulfato ferroso y magnesia.
Belladona	Café, vino; algunas gotas de láudano.
Bromo	Engrudo claro de almidón.
Hongos	Decocción de nuez de agallas, agua con vinagre. Especialmente excitantes como café, vino, etc.
Cloro.	Una docena de claras de huevo disueltas en agua; leche en abundancia.
Digital	Café, vino.
Agua de Javelle	Una docena de claras de huevo disueltas en agua.
Yodo	Engrudo claro de almidón.
Compuestos de mercurio. . .	Agua albuminosa, leche ó, mejor, sulfuro férrico hidratado, el cual es un antídoto de la mayor parte de los venenos metálicos.
Nitrato argéntico	Agua salada en abundancia, agua albuminosa, leche.
Opio y sus compuestos; láudano, etc.	Decocción concentrada de nuez de agallas, y luego decocción concentrada de café; excitantes externos, fricciones, hacer andar y procurar que no se duerma.
Fósforo	Gran cantidad de magnesia calcinada (no usar aceite de ricino ni magnesia grasa), 1 ó 2 gramos de esencia de trementina mezclada con bebidas mucilaginosas (goma, horchata, cocimiento de linaza, etc.), cada dos ó tres horas.
Sales de plomo	Sulfatos potásico, sódico ó magnésico.
Sulfatos de cinc ó de cobre. .	Leche en abundancia ó agua albuminosa.
Verde de gris	Agua albuminosa, ó, mejor, sulfuro férrico hidratado.

Primeros auxilios á los asfixiados

En las minas, las asfixias son, generalmente, acarreadas por la presencia de gases como el grisú, óxido de carbono, anhidrido carbónico, aire viciado, etc.

Lo primero que deberá hacerse es llevar el enfermo al aire libre, con la cabeza alta, friccionándolo fuertemente con trapos calientes todo el cuerpo y con aspersiones de agua lanzadas vigorosamente contra todo el cuerpo y especialmente contra la cara. De cuando en cuando se le insufla aire en los pulmones y se provoca la respiración artificial.

Este tratamiento debe continuarse con perseverancia, hasta que el enfermo vuelva en sí, ó deje de existir.

Medición de líneas, superficies y volúmenes

1.º—Líneas

Lados de los polígonos regulares en función de los radios de los círculos inscrito y circunscrito, y valor de estos radios en función de los lados:

	Valor del lado		Valor de R	Valor de *r*
Triángulo	1'732 R	3'463 *r*	0'577 *l*	0'289 *l*
Cuadrado	1'414 R	2'000 *r*	0'707 *l*	0'500 *l*
Pentágono	1'176 R	1'453 *r*	0'851 *l*	0'695 *l*
Exágono	1'000 R	1'155 *r*	1'000 *l*	0'866 *l*
Eptágono	0'868 R	0'963 *r*	1'152 *l*	1'038 *l*
Octógono	0'765 R	0'828 *r*	1'307 *l*	1'208 *l*
Eneágono	0'684 R	0'728 *r*	1'462 *l*	1'374 *l*
Decágono	0'618 R	0'649 *r*	1'618 *l*	1'540 *l*
Endecágono	0'563 R	0'587 *r*	1'776 *l*	1'710 *l*
Dodecágono	0'518 R	0'536 *r*	1'930 *l*	1'866 *l*

R = radio del círculo circunscrito al polígono.
r = radio del círculo inscrito al polígono.
l = lado del polígono.

Lado l *de un polígono regular circunscrito* en función del lado l' del correspondiente polígono regular inscrito:

$$l = \frac{2l'}{\sqrt{4-l'^2}}.$$

Lado l *de un polígono regular inscrito* en función del lado l' del polígono de mitad número de lados, también inscrito:

$$l = \sqrt{2-2\sqrt{1-\frac{1}{4}l'^2}} = \sqrt{2-\sqrt{4-l'^2}}.$$

Valor de los ángulos de los polígonos reguladores:

Núm. de lados	Ángulo w en el centro	Ángulo φ en la periferia
3	$^4/_3$ de 90°	$^2/_3$ de 90°
4	90°	90°
5	$^4/_5$ de 90°	$^6/_5$ de 90°
6	$^2/_3$ de 90°	$^4/_3$ de 90°
8	$^1/_2$ de 90°	$^3/_2$ de 90°
10	$^2/_5$ de 90°	$^8/_5$ de 90°
12	$^1/_3$ de 90°	$^5/_3$ de 90°
⋮	⋮	⋮
n	$\frac{4}{n}$ de 90°	$\frac{2(n-2)}{n}$ de 90°

Longitud C *de la circunferencia:*

$$C = \pi d = 2\pi r = 6'283\, r.$$

Longitud l *de un arco de circunferencia* de α°:

$$l = \frac{\pi}{180}\alpha r.$$

Longitud l *de la cuerda de un arco,* en función de la flecha y del radio:

$$l = 2\sqrt{f(2r-f)}.$$

Longitud r *del radio de un arco* en función de la flecha y de la longitud del arco:

$$r = \frac{\left(\frac{l}{2}\right)^2 + f^2}{2f}.$$

2.° — SUPERFICIES

Superficie de los polígonos regulares:

	Superficie en función del lado	Superficie en función del radio del círculo circunscrito
Triángulo	0'433 l^2	1'299 R^2
Cuadrado.	1'000 l^2	2'000 R^2
Pentágono	1'721 l^2	2'378 R^2
Exágono.	2'598 l^2	2'598 R^2
Eptágono.	3'634 l^2	2'736 R^2
Octógono	4'828 l^2	2'828 R^2
Eneágono	6'182 l^2	2'892 R^2
Decágono	7'694 l^2	2'939 R^2
Undecágono.	9'366 l^2	2'973 R^2
Dodecágono.	11'196 l^2	3'000 R^2

Fórmulas generales del área de los polígonos regulares:

$$S = \frac{r\,p}{2}$$
$$= \frac{p}{4}\sqrt{4R^2 - l^2}.$$

Área de un triángulo cualquiera:

$$S = \frac{b\,h}{2}$$
$$= \sqrt{p(p-a)(p-b)(p-c)}$$
$$= r\,p$$
$$= \frac{a\,b\,c}{4\,R}.$$

Área de un triángulo rectángulo:

$$S = \frac{b\,c}{2}$$
$$= \frac{b}{2}\sqrt{a^2 - b^2}.$$

Área del rectángulo:

$$S = bh.$$

Área del paralelogramo:

$$S = bh.$$

Área del trapecio:

$$S = \frac{1}{2}(b+b')h$$
$$= b''\,h$$

Área del cuadrilátero inscrito:

$$S = \sqrt{p(p-a)(p-b)(p-c)(p-d)}$$

siendo

$$p = \frac{a+b+c+d}{2}$$
$$= \frac{1}{2}(a\times b + c\times d)\ \text{sen}\ \alpha.$$

α = ángulo formado por los lados a y b ó por los c y d

Área del cuadrilátero circunscribible:

$$S = p\ r,$$

r = radio del círculo inscrito.

Área de un cuadrilátero cualquiera:

$$S = \frac{1}{2}mn\ \text{sen}\ \alpha.$$

m y n = diagonales.
α = ángulo formado por las diagonales.

Área de un polígono irregular:
Es igual á la suma de las áreas de los diferentes triángulos en que lo dividen las diagonales tiradas desde uno de los vértices.

Área del círculo:

$$S = \pi R^2$$
$$= \frac{\pi d^2}{4} = 0'785\ d^2.$$

Área del sector circular:

$$S = \frac{\text{arco del sector} \times r}{2} = \frac{\pi r^2 \alpha}{360} = 0'0087\ \alpha r^2$$

siendo α el número de grados del arco ó ángulo del sector.

Área del segmento circular:

$$S = \frac{\pi r^2 \alpha^0}{360} - \frac{c}{2}(r-f).$$

α = ángulo del segmento,
f = flecha del arco,
c = cuerda del arco.

Área del trapecio circular:

$$S = \frac{1}{2}(c+c')(r-r')$$
$$= C''(r-r')$$
$$= \frac{\pi \alpha}{360}(r^2-r'^2)$$
$$= \frac{\pi \alpha}{360} r''^2.$$

α = ángulo del trapecio,
c, c' y c'' = circunferencias límites y media,
r, r' y r'' = radios extremos y medio.

Área de la corona circular sean ó no concéntricos los dos círculos:

$$S = \pi(R^2-r^2) = \pi(R+r)(R-r),$$
$$= \pi(2r+d)d \text{ en que } d = R-r,$$
$$= \pi\rho^2 \text{ ó sea área del círculo de radio } \rho,$$

en que 2ρ = tangente al círculo menor terminado por la circunferencia mayor.

Área de una superficie plana terminada por dos curvas cualesquiera:

Se descompone la superficie en un número cualquiera de partes iguales por medio de paralelas equidistantes.

Sean d, d', d'' las longitudes de estas paralelas y sea a la distancia que separa unas de otras:

$$S = \frac{1}{2} a(d+2d'+2d''+2d'''+\ldots.+d^n)$$

VOLÚMENES Y SUS SUPERFICIES LIMITANTES [1]

Paralelepípedo rectángulo:

$$S = (a+b)h$$
$$V = abc = Bh.$$

Prisma recto ú oblicuo de bases paralelas:

$$V = Bh.$$

Prisma triangular cortado por un plano oblicuo:

$$V = B\frac{a+b+c}{3}.$$

B = base ó sea sección normal á las aristas,
$a\ b\ c$ = longitud de las aristas.

Tetraedro:

$$= \frac{1}{3} \text{ del prisma triangular.}$$

Pirámide cualquiera:

S = Perímetro de la base $\times \frac{1}{2}$ de la altura de los triángulos laterales,
= suma de las superficies de los triángulos que forman sus caras.

$$V = \frac{1}{2} Bh.$$

Pirámide recta:

$$S = \frac{1}{2} p\, a.$$

a = altura,
p = perímetro de la base.

(1) Representaremos por S y V, respectivamente, la superficie lateral y e volumen del cuerpo considerado.

Pirámide truncada:

S = suma de los cuatro trapecios laterales

$$V = \frac{h}{3}(B + \sqrt{BB'} + B')$$

h = distancia entre las bases paralelas,
B y B' = superficie de las bases.

$$V = V'\left(1 - \frac{1}{S^n}\right)$$

V' = volumen de la pirámide mayor,
S = relación $\frac{a}{a'}$ del lado a de la pirámide mayor al correspondiente a' de la pirámide menor,
n = número de aristas.

Pirámide truncada de bases no paralelas:

$$V = V'\left(1 - \frac{1}{s\,r\,t\ldots}\right)$$

$s, r, t \ldots$ = relaciones $\frac{a}{a'}\,\frac{b}{b'}$ ... de las aristas de la pirámide mayor y menor.

Cilindro recto:

Superficie lateral $= 2\pi r\,h$,
Superficie total $= 2\pi r(r+h)$,

$$V = \pi r^2 h = 0'785\,d^2 H = Bh.$$

Cilindro recto de sección oblicua:

$$S = \pi r(h_1 + h_2)$$

$$V = \pi r^2 \frac{h_1 + h_2}{2}$$

h_1 = generatriz más corta,
h_2 = generatriz más larga.

Cilindro cualquiera de bases paralelas:

$$S = Ch$$

siendo C la circunferencia de la sección recta.

Cilindro hueco:

$$S = 2\pi h(R+r)$$
$$V = \pi h(R^2-r^2).$$

R radio exterior.
r radio interior.

Si $R - r = e$

$$V = \pi he(2R-e) = \pi he(2r+e).$$

Cono recto:

Superficie lateral $= \pi r\sqrt{r^2+h^2} = \pi rl$
Superficie total $= \pi r(r+l)$.

$$V = \frac{\pi r^2 h}{3} = \frac{1}{3}Bh.$$

Tronco de cono de bases paralelas:

$S = 2\pi(R+r)\times\frac{1}{2}l =$ superficie de las dos bases multiplicada por la $\frac{1}{2}$ de la generatriz $= \pi l(R+r)$,

$= cl =$ circunferencia media multiplicada por la generatriz.

$$V = \frac{\pi h}{3}(R^2+r^2+Rr)$$
$$= \frac{\pi h}{12}(D^2+d^2+Dd).$$

Esfera:

$S = 4\pi R^2 = 12'56\ r^2 = \pi D^2 =$ cuatro círculos máximos,

$V = \frac{4}{3}\pi R^3 = 4'1888\ R^3 =$ área multiplicada por el $\frac{1}{3}$ del radio $=$ los dos tercios del cilindro circunscrito,

$= \frac{1}{6}\pi D^3 = 0'5236\ D^3$.

$$r = \sqrt[3]{\frac{3V}{4\pi}} = 0'62035\sqrt[3]{V}.$$

Segmento esférico menor que media esfera:

$S = 2\pi R f,$

$= \frac{\pi}{4}(d^2+4h^2),$

= arco del círculo que tiene por rádio la cuerda trazada desde el polo del segmento á su circunferencia.

En que f = flecha del segmento,
d = diámetro del círculo de la base.

$$V = \frac{1}{6}\pi h(3r^2+h^2) = \frac{1}{3}\pi h^2(3R-h) = \pi h^2(R-\frac{1}{3}h)$$

$$= \pi h\left(\frac{d^2}{8}+\frac{h^2}{6}\right)$$

r = radio del círculo de la base del segmento,
h = altura ó flecha del segmento,
R = radio de la esfera.

Zona esférica:

$S = 2\pi R h,$

$V = \frac{1}{6}\pi h(3r^2+r'^2+h^2),$

= producto de la altura h entre las bases por la semisuma de éstas, más una esfera que tiene h por diámetro,

$$= \frac{1}{2}\pi(r^2+r'^2)h+\frac{1}{6}\pi h^3 = 1'571h(r^2+r'^2)+0'5236h^3.$$

En que R = radio de la esfera á que pertenece la zona,
r y r' = radios de los círculos limitantes,
h = distancia entre las bases.

Sector esférico:

$S = \frac{\pi R}{2}(4h+d).$

V = arco del casquete multiplicado por $\frac{1}{3}$ R,

$V = \frac{2}{3}\pi R^2 h = 2'6944R^2h.$

En que R = radio de la esfera á que pertenece el sector,
d = diámetro de la base de unión entre el cono y el segmento que constituyen el sector.

Triángulo esférico:

$$S = \frac{\pi R^2}{2L}(X+Y+Z-2L).$$

X, Y, Z = ángulos del triángulo esférico,
L = ángulo recto.

Indicaciones útiles en los trabajos de cámpo

Empleo de la brújula como reloj.—Si por algún motivo, natural ó accidental, no podemos acudir al reloj para saber la hora del día en un momento dado, la brújula puede prestarnos un señalado servicio dándonosla á conocer con una aproximación aceptable.

Para ello se dispone el reloj de manera que la línea VI-XII venga á coincidir con la línea NS, de manera que la hora VI.ª mire al N y la hora XII.ª mire al S; y luego se hace deslizar una varilla alrededor de la esfera del reloj hasta que su sombra pase por el centro de él. Esta línea de sombra es la bisectriz del ángulo formado por los radios que pasan por el XII y la hora buscada.

Empleo del reloj como brújula. — Colóquese una varilla apoyada en un punto tal de la esfera que corresponda á la bisectriz del ángulo formado por los dos radios que pasan por las XII y por la hora del momento en que se hace la observación. Giremos sobre nosotros mismos, poniéndonos de frente hacia los cuatro puntos cardinales, hasta que la sombra de la varilla pase por el centro. En aquella posición, el VI del reloj señalará el N y el XII el S.

Medición de distancias por el número de pasos que se cuentan al recorrerlas

El paso que podríamos llamar normal es el que mide, cuando el piso es horizontal, 75 centímetros desde la punta del pie derecho á la punta del pie izquierdo.

Fundado en ello, Rhiza ha dado las siguientes fórmulas:

Longitud de un paso dado en una pendiente de α^{o}:

$$l = 0'75\left(1 - \text{sen}\ \frac{\alpha}{2}\right).$$

Longitud de un paso dado en una cuesta de β^{o}:

$$l = 0'75(1 - \text{sen}\ \beta).$$

Ángulo de la pendiente ó de la cuesta (α ó β)	Longitud de un paso en las pendientes	Longitud de un paso en las cuestas
5°	0'685	0'718
10°	0'620	0'685
15°	0'556	0'652
20°	0'500	0'620
25°	0'433	0'590
30°	0'374	0'556

Peso específico de las maderas en kilogramos por metro cúbico

(SEGÚN HATON DE LA GOUIPILLÈRE)

MADERAS	Mínimo	Máximo
Acacia	717	820
Olmo	555	800
Abedul	700	714
Hojaranzo	756	756
Castaño	683	1100
Encina blanca	643	1015
Encina verde (carrasca)	930	1220
Fresno	785	785
Haya	750	852
Alerce	657	657
Olmo	743	942
Alamo	371	414
Pino	814	828
Abeto	460	657

Transformación de las inclinaciones dadas en grados, en pendientes por metro

Ángulo	Pendiente por metro	Ángulo	Pendiente por metro
0° 15'	0'00436	5° 59' 30"	0'105
0° 17' 10"	0'005	6°	0'10510
0° 30'	0'00873	6° 16' 30"	0'110
0° 35'	0'010	6° 33' 40"	0'115
0° 45'	0'01309	6° 50' 30"	0'120
0° 51' 30"	0'015	7°	0'12278
1°	0'01746	7° 7' 30"	0,125
1° 8' 40"	0'020	7° 24' 20"	0'130
1° 26'	0'025	7° 41' 20"	0'135
1° 30'	0'02618	7° 58' 10"	0'140
1° 43'	0'030	8°	0'14054
2°	0'03492	8° 15' 5"	0'145
2° 20"	0'035	8° 31' 50"	0'150
2° 17' 30"	0'040	9°	0'15838
2° 30'	0'04366	10°	0'17633
2° 34' 40"	0'045	12°	0'21256
2° 51' 40"	0'050	14°	0'24933
3°	0'05241	16°	0'28675
3° 8' 50"	0'055	18°	0'32492
3° 26'	0'060	20°	0'36397
3° 30'	0'06116	22°	0'40403
3° 43' 10"	0'065	24°	0'44523
4°	0'070	26°	0'48773
4° 17'	0'075	28°	0'53171
4° 30'	0'07870	30°	0'57735
4° 34' 30"	0'080	32°	0'62487
4° 51' 30"	0'085	34°	0'67451
5°	0'08749	36°	0'72654
5° 8' 30"	0'090	38°	0'78129
5° 25' 30"	0'095	40°	0'83910
5° 42' 30"	0'100		

Transformación de las pendientes por metro en inclinaciones dadas en grados

Pendiente por metro	Inclinación en grados del círculo	Pendiente por metro	Inclinación en grados del círculo
0'005	0° 17' 10"	0'080	4° 34' 26"
0'010	0° 34' 22"	0'085	4° 51' 30"
0'015	0° 51' 34"	0'090	5° 8' 34"
0'020	1° 8' 45"	0'095	5° 25' 37"
0'025	1° 25' 55"	0'100	5° 42' 38"
0'030	1° 43' 6"	0'105	5° 59' 38"
0'035	2° 00' 16"	0'110	6° 16' 38"
0'040	2° 17' 26"	0'115	6° 33' 37"
0'045	2° 34' 36"	0'120	6° 50' 34"
0'050	2° 51' 42"	0'125	7° 7' 30"
0'055	3° 8' 53"	0'130	7° 24' 25"
0'060	3° 26' 1"	0'135	7° 41' 18"
0'065	3° 43' 8"	0'140	7° 58' 11"
0'070	4° 00' 15"	0'145	8° 15' 2"
0'075	4° 17' 21"	0'150	8° 31' 50"

Transformación de los litros por segundo en litros por minuto y en metros cúbicos por hora, y recíprocamente

Litros por segundo	Litros por minuto	Metros cúbicos por hora
1	60	3'600
2	120	7'200
3	180	10'800
4	240	14'400
5	300	18'000
6	360	21'600
7	420	25'200
8	480	28'800
9	540	32'400

Litros por minuto	Litros por segundo	Metros cúbicos por hora
1	0'016	0'060
2	0'033	0'120
3	0'050	0'180
4	0'066	0'240
5	0'083	0'300
6	0'100	0'360
7	0'116	0'420
8	0'133	0'480
9	0'150	0'540

Metros cúbs. por hora	Litros por minuto	Litros por segundo
1	16'66	0'277
2	33'33	0'555
3	50'00	0'833
4	66,66	1'111
5	83'33	1'388
6	100'00	1'666
7	116'66	1'944
8	133'33	2'222
9	150'00	2'500

ÍNDICE

Págs.

CAPÍTULO II

CAPÍTULO III

I

II

CAPÍTULO IX

I

II

CAPÍTULO X

I

Págs.

II

III

CAPÍTULO XI

I

Págs.

Págs.

APÉNDICES

APÉNDICE I

APÉNDICE II

APÉNDICE III

APÉNDICE IV



Fábrica de tubos de hierro
y acero betunados para
conducciones de
agua, gas y cables
electricos.
SOUJOL Y COMPAÑIA
CAMPO SAGRADO 16 — BORRELL 11 — BARCELONA

LABC

TA

BRUC

BOMBA

MOTOI

gas

GRUPO

MOTOI

mate

LABOR

LUIS DA

INGENIERO, Pr
de la "Escuela

DE MINERAL

AC

PRODUCTOS

PERITACIONES Y TASACIONES INDUSTRIALES

Consulado, 45, y Pansas, 6, 1.° - BARCELONA

(enfrente de la Casa Lonja)

